Untersuchung der optischen Eigenschaften von Mineralien der Amphibolgruppe und ihrer Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung

von

Dr. Stefan Kreutz.

(Mit 5 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 19. Juni 1908.)

Einleitung.

Die Hornblenden sind mineralogisch und petrographisch nicht minder wichtig und in jeder Hinsicht wissenschaftlich ebenso interessant wie die Pyroxene.

Eine größere Anzahl der letzteren wurde von hervorragenden Forschern chemisch und optisch untersucht, besonders nachdem die klassischen Untersuchungen von G. Tschermak die Wichtigkeit präziserer Bestimmungen der optischen Konstanten von chemisch analysierten Krystallen erwiesen; dagegen blieb die Hornblendegruppe in dieser Beziehung relativ vernachlässigt. Um zur Ausfüllung dieser in der Wissenschaft sehr empfindlichen Lücke beizutragen, unternahm ich Untersuchungen an einer Reihe chemisch gut bekannter Hornblenden.

Dabei habe ich getrachtet, hauptsächlich die wichtigsten und verbreiteten Typen zu berücksichtigen.

Die Möglichkeit der Ausführung dieser Untersuchung verdanke ich dem Wohlwollen von Prof. F. Becke, welcher als Vorstand des mineralogisch-petrographischen Universitätsinstitutes in Wien alle hierbei nötigen Mittel gern gewährte

und durch erfahrenen Rat meine Arbeit förderte, und es sei mir erlaubt, ihm meinen herzlichsten und verbindlichsten Dank hier zum Ausdruck zu bringen.

Es sei mir auch gestattet, Herrn Hofrat Tschermak, welchem ich für manche Hinweise und Aufklärungen verpflichtet bin, Prof. Berwerth, Prof. Doelter und Prof. Hibsch für mir anvertrautes Untersuchungsmaterial meinen Dank auszusprechen. Den Herren Dr. Stark und Reinhold für die stets erwiesenen Freundlichkeiten besten Dank!

Die Mineralien der Amphibolgruppe kommen in der Natur unter sehr mannigfaltigen Bildungsbedingungen vor. So vor allem aus Magmen auskrystallisiert, aus wässerigen Lösungen, in krystallisierten Kalken, als Sublimationsprodukte, Umwandlungen etc. Trotzdem ist die künstliche Nachbildung schwierig.

Ihre chemische Zusammensetzung schwankt zwischen sehr weiten Grenzen. Wir beobachten aber, daß viele Hornblenden je nach den Bildungsverhältnissen sich um gewisse Typen häufen (Tremolit, Pargasit etc.), aber auch ähnliche Krystalle vom selben Fundorte zeigen oft bedeutende Unterschiede, wie wir es weiter unten an einigen Beispielen sehen werden. Diese große Mannigfaltigkeit zeigt sich auch in der äußerst großen Zahl der vorhandenen Analysen; leider wurde dabei die optische Untersuchung gewöhnlich unterlassen.

Die auf die optischen Eigenschaften der Amphibole sich beziehende Literatur ist in den Handbüchern von Dana, Hintze, Rosenbusch und neuestens in dem Werke Rosenbusch's: Mikroskopische Physiographie, II. T., zusammengestellt, so daß hier von dem Eingehen auf die Literatur Umgang genommen werden konnte.

Die meisten Bestimmungen sind nicht in speziellen Untersuchungen enthalten, sondern wurden bei der Behandlung größerer Mineralgruppen aus Not vorgenommen, wobei natürlich keine größere Genauigkeit angestrebt werden konnte (M. Lévy und Lacroix bei Behandlung der gesteinsbildenden Minerale) oder die Untersuchung nur auf manche Eigen-

schaften beschränkt blieb (Zimányi bei Gelegenheit der Bestimmung der Brechungsindices von verschiedenen Mineralen).

Viele Angaben verdanken wir den petrographischen Untersuchungen.

Detaillierte Angaben findet man erst in der letzten Zeit öfter: Daly, Philipstadite; Duparc und Pearce, Soretite; Frank Adams, Hastingsit etc. sowie die Untersuchungen über die normalsymmetrischen Hornblenden.

So erklärt sich die Unvollständigkeit unserer Kenntnisse mancher Amphibole. Es liegt z. B. keine Angabe über den Achsenwinkel von Karinthin, Richterit vor, auch sind die meisten Bestimmungen an chemisch näher nicht bekanntem Material vorgenommen worden (Tremolit, Pargasit etc.).

Von den nach dem Erscheinen des Werkes von Rosenbusch (1905) publizierten Abhandlungen wären hier die Untersuchungen von Hlawatsch,[1] Murgoci[2] und Tertsch[3] zu verzeichnen und letztens die Untersuchungen von Duparc und Pearce.[4]

---

[1] Über den Amphibol von Cevadaes (Portugal). Festschrift zum 70. Geburtstage von H. Rosenbusch, Stuttgart 1906.

[2] I. Contribution to the Classification of the Amphiboles.

II. On some Glaukophane Schists by Murgoci. University of California Publications, Berkeley 1906.

[3] Optische Untersuchungen von Hornblenden und Titanit von Mont Real. Tschermak's Min. u. p. Mitt., XXV, 6. H., 1907.

[4] Schon nach Fertigstellung des Manuskriptes sind mir die beiden neulich erschienenen Arbeiten von Duparc und Pearce in die Hand gekommen und konnten samt der dort zitierten Untersuchung von Hornung und Duparc und Hornung nicht mehr gebührend berücksichtigt werden. In diesen Arbeiten ist eine große Zahl von optischen Bestimmungen (Brechungsindices etc.) an analysiertem Material ausgeführt worden. Die Untersuchung bezieht sich auf gemeine, gesteinsbildende Hornblende, während hier hauptsächlich die aufgewachsenen untersucht wurden. Die Autoren zeigen, wie groß die Unterschiede der Brechungsindices an Krystallen von Pyroxenen und Hornblenden von demselben Gestein sein können, ähnlich wie hier in einigen Fällen aufgewachsene, besonders eisenreichere Hornblenden von verschiedenen Stufen, wenn auch von demselben Fundorte, sich verschieden verhalten. Merkwürdiger ist die nahe Übereinstimmung von Analysen von drei Hornblenden mit stark verschiedenen optischen Eigenschaften (Auslöschungsschiefe 11 bis 20°). Bull. de la Soc. Min., 1 und 2, 1908.

In der Untersuchung von Hlawatsch wird eine normalsymmetrische Hornblende beschrieben. Analyse von Diettrich. Die optische Orientierung dieses sehr eisenreichen (FeO und Fe_2O_3) Amphibols ist: α nahe an c, $\gamma = b$, β annähernd senkrecht zu 100. $2V$ groß um α, schwache Doppelbrechung. Absorption: $\alpha > \beta > \gamma$.

Herm. Tertsch untersuchte eine von N. Evans analysierte, sehr Ti-reiche Hornblende aus dem Essexit von Mt. Johnston, welche sich, ähnlich wie eine von Montreal, als Verwachsung zweier, respektive dreier Hornblenden erwies. Die Dispersion der Achse A wurde $v > \rho$ um α, der Achse B $v = \rho$ gefunden, die Dispersion der Doppelbrechung $v > \rho$ sowie $\rho > v$.

Die Publikation von Murgoci liefert einen Versuch einer Klassifikation der Amphibolgruppe sowie Betrachtungen über den Einfluß einzelner Gemengteile auf die optischen Eigenschaften dieses Minerals. Es findet sich hier eine Anzahl neuer sowie ergänzender Bestimmungen von Amphibolen in amerikanischen Gesteinen (Crossit).

Ältere Versuche, die Abhängigkeit der optischen Eigenschaften von der chemischen Zusammensetzung zu klären, sind in den früher erwähnten Handbüchern berücksichtigt.

Nach Tschermak[1] ändert sich der Achsenwinkel so, daß er bei eisenreicheren um α kleiner wird, doch »bei der äußerst komplizierten chemischen Zusammensetzung kann der Zusammenhang kein einfacher sein«.

Der Sinn der Änderung ist derselbe wie in der Pyroxengruppe.

Wiik beobachtete, daß die Auslöschungsschiefe mit dem Al_2O_3-Gehalte steigt und zeichnete entsprechende Kurven auf, besonders auf Grund der Untersuchung der finnländischen Hornblenden.

Brögger[2] bemerkte das Steigen der Auslöschungsschiefe mit FeO und mit Zunahme des Alkaliengehaltes.

---

[1] Pyroxen und Amphibol. Min. Mitt., 1871, H. 1.

[2] C. n. Murgoci.

Letztens findet Murgoci, daß der Auslöschungswinkel in der Amphibolgruppe von dem Verhältnis der Molekularkoeffizienten von $Fe_2O_3 : Al_2O_3$ abhängig ist. Aus der Zusammenstellung dieses Autors ist ersichtlich, daß für die Glaukophanreihe sowie für manche eisen- und alkalihaltigen Glieder diese Regel zutrifft: je größer das Verhältnis der Molekularkoeffizienten von $Fe_2O_3 : Al_2O_3$, desto größer die Auslöschungsschiefe. In der am breitesten behandelten Glaukophangruppe wird der Achsenwinkel mit Zunahme von $Fe_2Si_3O_9$, welches das Aluminiumsilikat vertritt, kleiner. Die Mischung mit $\overset{III}{Fe} : Al = 1 : 3$ ist einachsig und der Crossit mit $\overset{III}{Fe} : Al = 6 : 5$ ist normalsymmetrisch mit $2V = 90$ (zirka). Doch scheint dieser Zusammenhang für andere Gruppen kein so einfacher zu sein, die p. 347 l. c. angeführten Werte fügen sich keiner regelmäßigen Kurve an und in den Pargasiten ist der Auslöschungswinkel groß. Diese Regel wäre folglich vielleicht zu begrenzen.

Ferner findet Murgoci, daß das MgO vertretende FeO auf die optischen Eigenschaften keinen merklichen Einfluß hat und der wirksame Stoff das Fe_2O_3 ist. Damit im Zusammenhang ist die Stärke der Absorption, welche in den $Fe_2Si_3O_9$-reicheren Hornblenden wächst sowie die Dispersion der optischen Achsen (und Bissektricen), welche in schwarzen Gliedern (Osannit, Arfvedsonit) am größten, also auch eine Funktion von $Fe_2Si_3O_9$ ist.

Wie man aus dieser Zusammenstellung schon ersieht, ist eine einfache Fassung des Gesetzes der Abhängigkeit der optischen Eigenschaften von der chemischen Zusammensetzung für die ganze Amphibolgruppe schwer möglich, was bei der großen Kompliziertheit der Zusammensetzung nicht verwundern darf.

Sogar dieselben Bestandteile üben in verschiedenen Reihen hier verschiedenen Einfluß aus, wie wir es später sehen werden, und gerade das ist auch vielleicht für die Frage der Konstitution dieser Gruppe beachtenswert.

Eine einfache, vollständige Deutung der chemischen Konstitution, welche eine strenge Prüfung des Zusammenhanges der physikalischen und chemischen Eigenschaften auf die

Regeln, welche für isomorphe Reihen aufgestellt wurden, erlauben würde, fehlt bis jetzt noch.

Die Grundlage zu einer solchen ist von Tschermak (l. c.) gegeben. Er erklärt die Amphibole als isomorphe Mischung verschiedener Silikate, nämlich $CaMg_3Si_4O_{12}$, $CaFe_3Si_4O_{12}$, welchen noch die Alumosilikate

$$Na_2\overset{III}{Me_2}Si_4O_{12} \text{ und } CaMg_2\overset{III}{Me_2}Si_3O_{12}$$

beigemischt sind.

Der Grundgedanke von Tschermak ist der, daß nur durch Auffindung von Silikaten, welche die in der Amphibolgruppe enthaltenen Verbindungen allein für sich zeigen, die Frage zur Lösung gebracht werden kann. Das Natriumaluminiumsilikat (analog wie im Jadeit und Spodumen) — von besonderer Wichtigkeit erscheint hier der Versuch von Lemberg, welcher den Jadeit in Analcim und endlich in Leucit auf nassem Wege überführte — ist in mehreren Gruppen als konstituierender Gemengteil festgestellt worden und ist in der Natur als solcher sehr verbreitet (vgl. hierüber Morozewicz, Über die chem. Konstitution des Nephelins, Bull. de l'Acad. de Cracovie, 1907). Daß das sogenannte Tschermak'sche Silikat MeR_2SiO_6, welches nach Tschermak eine der Grundverbindungen in der Augitgruppe ist, selbständig (krystallisiert als Pyroxen) auftreten kann, wurde durch die Untersuchungen von C. Doelter[1] und J. Morozewicz[2] nachgewiesen.

Auch das Ferrisilikat $Na_2Fe_2Si_4O_{12}$ ist von Weyberg[3] künstlich erhalten worden.

Obgleich diese Verbindungen nicht als Amphibole dargestellt wurden, so ist doch wegen der angenommenen Dimorphie von Hornblende und Pyroxen ihre Existenzfähigkeit auch für die Theorie der ersteren von großer Bedeutung.

Scharizer[4] rechnete das »Syntagmatitmolekül« aus und betrachtet eine Reihe von Hornblenden als Mischungen des Aktinolithsilikats mit dem ersteren.

---

[1] Zur Synthese des Pyroxens. Doelter, N. J. f. M., 1884, II, p. 51.

[2] Morozewicz, Experimentelle Untersuchungen über die Bildung der Minerale im Magma. Tscherm. Min.-petr. Mitt., Bd. XVIII, H. 1 u. 2/3.

[3] Einige Worte über das Silikat $Na_2Fe_2Si_4O_{12}$. Zentr. f. M., 1905.

[4] Siehe p. 963.

Nach Murgoci[1] liegt in der Hornblende eine ganz willkürliche Mischung von Silikaten: $FeSiO_3$, H_2SiO_3 etc. vor. Fluor vertritt die Kieselsäure.

In der letzten Zeit haben Penfield[2] und Stanley auf Grund einer Reihe neuer Analysen gezeigt, daß in den tonerdefreien Hornblenden das Wasser (und Fl) mitgerechnet werden muß, um das für die Metasilikatformel verlangte Verhältnis der Basen zu der Säure 1 : 1 zu erhalten. Die Sesquioxyde werden mit (OH), Fl sowie zum Teil mit $\overset{II}{R}O$ zu zweiwertigen Radikalgruppen verbunden und als solche in das Hornblendegebäude eingeführt, so daß nach Abzug dieser Moleküle das Verhältnis $SiO_2 : \overset{II}{R}O = 1 : 1$ bleibt. Das CaO vertritt ein Viertel der Wasserstoffatome der Amphibolsäure.

Trotz der großen chemischen Verschiedenheit mancher isomorph vermengter Bestandteile bleibt die äußere Form der Amphibole ähnlich, weil »in dem großen Moleküle die anderen durch den Effekt ihrer Masse die Krystallform bestimmen«.

Untersuchungsmethoden.

Die charakteristischen optischen Konstanten eines monosymmetrischen Krystalls sind die drei Brechungsindices und die Auslöschungsschiefe auf (010).

Der Achsenwinkel ist eine aus den Brechungsindices ableitbare Größe, doch wird er gewöhnlich auch angegeben, weil jede relative Änderung der Unterschiede der Brechungsindices einen merklichen Einfluß auf die Größe des Achsenwinkels, dessen Änderung auffälliger ist, ausübt; auch wegen der scharfen Kontrolle der Genauigkeit der Bestimmung der Brechungsindices.

In einer isomorphen Reihe, wo mehrere Grenzglieder eintreten, kann es leicht vorkommen, daß manche von den Konstanten gar nicht oder nur unwesentlich verändert werden, besonders wenn zwei von den Endgliedern einander entgegengesetzte Wirkung ausüben. So kommt es vor, daß in der

---

1 L. c.

2 Am. J. of Sc., XV; Z. f. K., XLIII, p. 233.

Hornblendegruppe manche chemisch sehr verschiedene Glieder dieselbe Auslöschungsschiefe zeigen. Damit keine Änderung des Achsenwinkels eintritt, brauchen nur alle drei Brechungsindices in derselben Richtung gleich beeinflußt zu werden (Soretit, Hornbl. v. Edenville).

Auch die Brechungsindices sind manchmal beinahe gleich, z. B. β bei Tremolit und Pargasit. Man muß hier folglich die vollständige optische Orientierung vergleichen.

Als gutes Hilfsmittel zur Charakterisierung einzelner Glieder bieten sich die Dispersionserscheinungen an. Die Genauigkeit der Dispersionsmessungen kann ziemlich weit getrieben werden.

Es kommen hier in Betracht: die Dispersion der Brechungsindices und die ableitbaren, aber leicht zu messenden Größen: die Dispersion der Doppelbrechung und der Achsen.

Die Dispersion der Doppelbrechung ist eine Größe, deren praktische Einführung in die optischen Untersuchungen man dem Prof. Becke zu verdanken hat, welcher auf deren Verwendbarkeit und Wichtigkeit aufmerksam wurde.

Hlawatsch, welcher sich viel mit dieser Erscheinung beschäftigte, wies auf die Verwendbarkeit dieser Größe bei der Untersuchung isomorpher Reihen hin, namentlich auf die Möglichkeit der Erkennung mancher Vesuvianvarietäten an der Färbung des Kompensationsstreifens. Dies gilt besonders bei Mischungen optisch einachsiger positiver und negativer Endglieder (auch bei manchen zweiachsigen Krystallen).

Es wäre noch zu untersuchen, ob aus der Größe der Achsendispersion auf die Menge des sie bewirkenden Gemengteiles geschlossen werden kann, wenigstens in dem einfachsten Falle einer Mischungsreihe, deren ein Endglied sehr starke, das andere fast gar keine Achsendispersion zeigt.

Einfach kann man Aufschluß darüber gewinnen, wenn man die angenäherte Formel von Mallard[1] betrachtet:

$$\operatorname{tg}^2 V = \frac{g}{g'}\left[1+\left(\frac{h}{g}-\frac{h'}{g'}\right)\frac{1}{\lambda^2}\right], \qquad (1)$$

[1] Mallard, Traité de Cristallographie, II, 1884, Paris, p. 521.

welche aus der Formel $\operatorname{tg}^2 V = \frac{\omega}{\nu}$ sich ergibt, wenn man $\omega = g + h\frac{1}{\lambda^2}$, $\nu = g' + h'\frac{1}{\lambda^2}$ setzt und die Größen $\frac{h}{\lambda^2}$ und $\frac{h'}{\lambda^2}$ als klein im Vergleich mit g und g' annimmt.

Daraus ergibt sich

$$\frac{\partial \operatorname{tg} V}{\partial \lambda} = -\frac{\frac{g}{g'}\left(\frac{h}{g} - \frac{h'}{g'}\right)}{\operatorname{tg} V \lambda^3}. \qquad (2a)$$

Diese Formel ist ganz analog der von Pockels[1] abgeleiteten für die Änderung des Achsenwinkels. Drückt man in der Formel für den scheinbaren Achsenwinkel

$$\sin E = \gamma \sqrt{\frac{\beta^2 - \alpha^2}{\gamma^2 - \alpha^2}} = \frac{\gamma}{\sqrt{\gamma^2 - \alpha^2}} \sqrt{\beta^2 - \alpha^2} \qquad (1)$$

die Brechungsindices durch die zweigliedrige Dispersionsformel $= A + \frac{B}{\lambda^2}$ aus, so erhält man für die Änderung des Achsenwinkels

$$\frac{\partial \sin E}{\partial \lambda} = \frac{-\gamma^2}{\gamma^2 - \alpha^2}(B_2 - B_1)\frac{1}{\sin E}\frac{1}{\lambda^3} \quad \text{(nach Pockels)} \quad (2b)$$

unter der Annahme, daß $\frac{\gamma^2}{\gamma^2 - \alpha^2} = \text{Const}$ ist, $\frac{\partial E}{\partial \lambda} = \infty$, wenn $E = 0$ wird, ebenso für $\lambda = 0$, woraus Pockels den Schluß gezogen hat, daß der Achsenwinkel bei der Annäherung an den Wert 0 sich sehr rasch mit der Wellenlänge ändert.[2]

Die Ausdrücke (2*a*) und (2*b*) lassen aber sofort die Regeln für die Dispersionsänderung, d. i. der verschiedenen Änderung des Achsenwinkels mit der Wellenlänge, ersehen.

1. Wird der Achsenwinkel kleiner, so erfahren die einen kleinen Achsenwinkel bildenden Achsen eine raschere Änderung wie die anderen, die schon vorhandene Dispersion wird

---

[1] Pockels, Lehrbuch der Krystalloptik.

[2] Laspeyres, Z. f. K., I, 1877, p. 540, fand am Glauberit, daß die Achsen bei Temperaturänderung sich mit beschleunigter Geschwindigkeit nähern.

größer. Bei $2E = 0$ sollte sie bei sonst gleichen Verhältnissen am größten sein.

2. Es wirkt hier noch ein zweiter Umstand, nämlich die Art der Dispersion, ob $\rho > v$ oder $v > \rho$. Je kürzer die Wellenlänge, desto rascher die Änderung, folglich wird der Achsenwinkel im Falle der Verkleinerung bei sonst gleichen Verhältnissen für blaues Licht sich rascher verringern wie für rotes. Ist also die Dispersion $\rho > v$ und wird der Achsenwinkel kleiner, so wirken beide Einflüsse (die Annäherung an den Wert 0 und die energischere Wirkung der kürzeren Wellenlängen) im gleichen Sinne; ist aber die Dispersion $v > \rho$, so wird die letztere Eigenschaft den Abstand der Achsen für rote und blaue Strahlen verkleinern und die Dispersionsänderung wird sich aus der Differenz beider Einflüsse ergeben.

Aus dem ergibt sich, daß die Dispersion, welche für die Strahlen, welche dem, für welchen $2V = 0$ ist, am nächsten liegen, am größten wird, auf beiden Seiten des 0-Punktes nicht symmetrisch verlaufen wird.

Es ist also vorauszusehen, daß die Dispersion der Achsen bei ganz kleinen Achsenwinkeln bei sonst gleichen Verhältnissen am größten wird und besonders, wenn der Sinn der Dispersion $\rho > v$ um die spitze Bisectrix ist.

Sonst ist große Dispersion bei schwacher Doppelbrechung zu erwarten.

Das Verhalten von Glauberit und von Sacharin bei Temperaturänderung bestätigen die Resultate dieser Überlegung. Laspeyres fand: die scheinbare, stets sehr große Dispersion erreicht im Glauberit ihr Maximum in der Nähe der Einachsigkeit.

Auch in isomorphen Mischungen haben die Glieder mit kleinem Achsenwinkel in der Regel starke Dispersion.

Im Vorjahr ist Tutton in einer Abhandlung: »Allgemeine Erklärung des Phänomens der Dispersion in gekreuzten Achsenebenen«, Z. f. K., XLII, 1907, H. 6, auf Grund von experimentellen Untersuchungen der Sulfate und Selenate der Alkalireihe zum Resultat gekommen, daß es sehr wahrscheinlich ist, daß die allgemeinen Bedingungen für Dispersion in gekreuzten Achsenebenen folgende sind:

1. Gleichzeitige Anwesenheit von äußerst geringer Doppelbrechung (Nähe der α- und γ-Brechungsexponenten) und große Annäherung des mittleren Brechungsindices β an α oder γ.

2. Veränderung der Wellenlänge des angewandten Lichtes bei gewöhnlicher Temperatur oder Temperaturveränderung bei derselben Lichtwellenlänge oder beide Veränderungsarten müssen veranlassen, daß zwei der Brechungsindices, eventuell bei einer besonderen Temperatur für verschiedene Wellenlängen, gleich werden, um aus dem dreiachsigen Ellipsoid ein Rotationsellipsoid zu bilden.

Wie wir sehen, sind diese auf Grund der Bestimmungen gemachten Folgerungen ident mit denen, welche aus (2*a*) und (2*b*) zu ersehen sind. Um zu prüfen, wie sich die von Tutton untersuchten Salze bezüglich des zweiten Faktors, ob die blauen oder roten Achsen vorauseilen, verhalten, dazu genügen die vorhandenen Beobachtungen nicht.

Die Dispersionserscheinungen der Achsen wären, wie aus dieser Auseinandersetzung hervorgeht, zu dem früher erwähnten Zwecke nur bei annähernd gleich großen Achsenwinkeln verwendbar.

Trotzdem können sie aber zur Charakterisierung verschiedener Glieder gute Dienste leisten.

Die Bestimmungsmethoden wurden je nach der Art und Beschaffenheit des Materials gewählt. Zur Herstellung monochromatischen Lichtes wurde neben den monochromatischen Flammen und Lichtfiltern der Monochromator von Wülfing verwendet. Als Lichtquelle diente eine starke elektrische Bogenlampe. Die ein- und austretenden Strahlen wurden je nach Bedarf mit Linsensystemen reguliert.

Die Wellenlänge der angewandten Lichtarten wurde mit Hilfe eines Gitters und als Spektrometers benützten großen Goniometers von Fueß Nr. 1 gemessen. Zur raschen Kontrolle wurde die Wellenlänge mit dem Babinet'schen Kompensator, wie dies Becke (Tscherm. Min. u. petr. Mitt., XXII) angegeben, bestimmt.

Zur Bestimmung der Brechungsindices ist die Methode der Totalreflexion sehr zweckmäßig. Es wurde ein Total-

reflektometer nach Abbe-Pulfrich von Zeiß, dessen Halbkugel einen Brechungsindex 1·8904 für Na besitzt, benützt.

Seine Justierung und Zentrierung wurde nach den von Viola angegebenen Methoden kontrolliert und der Fehler als innerhalb der üblichen Fehlergrenze liegend gefunden.

Der Brechungsindex des Glases wurde durch Einstellung auf die Grenze der Totalreflexion Glas—Luft ($\varphi = 31° 56' 20''$) und von Glasprismen, an welchen der Brechungsindex vorher mit der Prismenmethode bestimmt wurde, kontrolliert. Die Differenzen der nach beiden Methoden erhaltenen Werte waren $= 0·0001$, für die Brechungsindices von Quarz ergaben sich um 0·0002 höhere Werte wie die von Macé de Lepinay.

Nachdem die nach der Prismenmethode im Laboratorium von Zeiß bestimmten Werte genauer bestimmt werden konnten und die von mir erhaltenen Zahlen nicht viel von jenen differierten, durch verschiedene Art des Schleifens (Halbkugel und Prisma) die Brechungsindices aber schwerlich in merklicher Art beeinflußt werden konnten, konnte der von der Firma angegebene Wert als richtig angenommen werden.

Für die Li- und Tl-Strahlen erhielt ich als Mittel

$$\log n_{\mathrm{Li}} = 0·2737080 \qquad \log n_{\mathrm{Tl}} = 0·2794233.$$

Der Ablesungsfehler $dn = N \cos \varphi \, d\varphi$ ($n = N \sin \varphi$) ist bei kleinen Brechungsindices größer; begeht man bei der Einstellung der Grenze einen Fehler von 30″, so ergibt sich für

Glas—Luft ($\varphi = 31° 56' 20''$) der Fehler zu

$$\delta = 0·00012 \times 1·89$$

Glas—Wasser 48° 51′ 20″ der Fehler zu

$$\delta = 0·00010 \times 1·89$$

Glas—Hornblende ($n = 1·7278$, $\varphi = 66° 08'$) der Fehler zu

$$\delta = 0·000059 \times 1·89$$

Zur Messung nach der Prismenmethode wurde das große Goniometer Modell Fueß Nr. 1 sowie Fueß Nr. 2 benützt.

Bei ganz kleinen Kryställchen wurde die Methode der Immersion (Schröder v. d. Kolk) mit Hilfe der Becke'schen Lichtlinie verwendet, wie es im Becke'schen Institut üblich ist. Bei der Gleichheit der Brechungsindices des Minerals und der Flüssigkeit im Na-Licht wird im weißen Licht beim Heben

des Tubus eine blaue, in die Flüssigkeit wandernde Linie, beim Senken eine rote bemerkt (die Dispersion der Flüssigkeit stärker wie die des Minerals).

Die Messungen der Doppelbrechung wurden auch mit dem Kompensator von Babinet vorgenommen.

Die gewöhnliche Formel (1) $\gamma-\alpha=\frac{l}{D}\cdot C$, nach welcher man aus der Trommelablesung l und der Dicke D der untersuchten Platte die Doppelbrechung bestimmt, ist nach der strengen Theorie von Voigt nicht richtig, weil die durchgehende Lichtwelle an vier Grenzen (Luft—Quarz—Luft—Quarz—Luft) teilweise reflektiert wird und einzelne Teile der austretenden Welle verschiedenen Weg machen.

Die genaue Formel von Voigt ist sehr kompliziert, auch wenn die Reflexionen zwischen den beiden Quarzkeilen durch Eintauchen in Flüssigkeit von demselben Brechungsindex beseitigt würden.

Der durch Anwendung der angenäherten Formel (1) entstandene Fehler ist aber sehr klein im Vergleich mit anderen, die hier sich fühlbar machen, vor allem infolge der Ungenauigkeit der Dickemessung.

Aus (1) folgt $z=\gamma-\alpha$:

$$dz=-\frac{l.C}{D^2}dD+\frac{C}{D}dl.$$

Nachdem wir den Sinn des Fehlers, welchen wir bei der Bestimmung der Dicke und der Einstellung des Streifens machen, nicht kennen, so müßte man, um den möglichen Fehler zu finden, die absoluten Werte der beiden Glieder in Rechnung nehmen.

Angenommen, daß man bei der Dickemessung einen Fehler von 0·002 *mm*, bei der Einstellung des Kompensationsstreifens einen von 0·10 der Trommeleinteilung begeht, so ergibt sich bei einer Dicke von 0·060 für die Doppelbrechung $\gamma-\alpha=0\cdot030$ ($l=18\cdot00$, $C=0\cdot0001$)

$$\Delta z=0\cdot001+0\cdot0001.$$

[1] Wied. Ann.

Bei einer Doppelbrechung $\gamma-\alpha = 0\cdot025$, Plattendicke $0\cdot020$ *mm*, Trommelverschiebung $l = 5\cdot00$ ist

$$\Delta z = 0\cdot0025 + 0\cdot00025.$$

Die Verminderung des durch die Dickemessung entstandenen Fehlers durch Anwendung von sehr dicken Präparaten kann nur an durchsichtigen, sehr schwach doppelbrechenden Substanzen angestrebt werden.

Eine Fehlermöglichkeit liegt noch in der eventuellen Abweichung der Fortpflanzungsrichtung der Strahlen von der Plattennormale; besonders an sehr dicken Präparaten kann man ein Wandern des Streifens leicht beobachten, wenn man den Beleuchtungsspiegel seitlich stellt und bewegt. Diese Fehlermöglichkeit hängt mit der Größe der angewendeten Apertur zusammen, indem sie mit ihrer Größe steigt.

Die hier bestimmten Doppelbrechungen differierten gewöhnlich um vier bis fünf Stellen der vierten Dezimale von den aus den Brechungsindices abgeleiteten. Die Dickemessung läßt sich aber oft auf $0\cdot001$ *mm* genau ausführen und der oben angenommene Fehler gilt nur für besonders ungünstige Präparate. Es wurde immer getrachtet, die Dicke genau an derselben Stelle zu messen, für welche die Verschiebung des Kompensationsstreifens beobachtet wurde. Die Brechungsindices waren in der Regel bekannt.

Die Dispersionsmessungen sind hier viel genauer ausführbar wie die Messung der absoluten Größe der Doppelbrechung.

Der durch die Dickemessung entstandene Fehler wird jetzt sehr klein:

$$\partial n = \frac{l_\lambda C - l_{\lambda'} C'}{D^2}\, dD,$$

wo l_λ und $l_{\lambda'}$ die Verschiebungen des Kompensationsstreifens in verschiedenen Wellenlängen, C, C' die Konstanten des Instrumentes bedeuten.

Wie man die Dispersion der Doppelbrechung mißt, ist in Becke's[1] »Optischen Untersuchungsmethoden II« ausführlich behandelt.

---

[1] Denkschr. der kaiserl. Akad. der Wiss., LXXV, 1904.

Es eignet sich dazu eine von Becke[1] abgeleitete Dispersionsformel:

$$(\gamma-\alpha)_\lambda = \frac{L_\lambda}{D}\left(0\cdot0000843 \times C + \frac{0\cdot000045}{l_\lambda}\right),$$

wo L_λ die Verschiebung des Kompensationsstreifens, l_λ der Abstand der Streifen im angewendeten Licht bedeutet.

Die Dispersion der Doppelbrechung zeigt sich im weißen Licht durch Färbung des Kompensationsstreifens. Bei qualitativen Angaben muß man aber sehr vorsichtig sein bei geringer Dispersion, weil die Färbung des Kompensationsstreifens von dem Verhältnis $\frac{(\gamma-\alpha)_v}{(\gamma-\alpha)_\rho} : \frac{(\varepsilon-\omega)_v}{(\varepsilon-\omega)_\rho}$, d. i. dem Dispersionsverhältnis des Minerals zu dem des Quarzes abhängig ist (Becke, l. c., p. 7).

Wie man aus der Formel $(\gamma-\alpha)_\lambda = \frac{L_\lambda}{D} \cdot \frac{\lambda}{l_\lambda}$ ersieht, ist bei konstanter Doppelbrechung für verschiedene Farben die Verschiebung des Kompensationsstreifens von dem wechselnden Verhältnis $\frac{\lambda}{l_\lambda}$ abhängig. In dem hier verwendeten Instrument ist das Verhältnis für Na-Licht fast $=1$, für kürzere Wellenlängen wird es größer; z. B. für $\lambda = 430$ ist $\frac{\lambda}{l_\lambda} = \frac{430}{416} = 1\cdot0338$, folglich muß bei gleichem Gangunterschied die Verschiebung des Kompensationsstreifens geringer sein und, zeigt eine Platte von $0\cdot060$ *mm* Dicke eine Doppelbrechung $0\cdot030$ Na (also $l_{Na} = 18\cdot00$), so wird die Verschiebung des Streifens für $\lambda = 430$ nur $17\cdot424$, falls die Doppelbrechung sich nicht ändern soll. Es ist folglich, wo man die Dispersion $\rho > v$ sieht, Vorsicht geboten.

Die Auslöschungsschiefe wurde sowohl direkt gemessen auf Platten $\parallel$ (010) als auch, wo dies nur möglich war, aus den Achsenpositionen abgeleitet.

---

[1] Becke, Min.-petr. Mitt., 22, 1903; vgl. mit Souza-Brandão, Über eine Dispersionsformel der Doppelbrechung im Quarz etc. Zentr. f. M., 1905, p. 23.

Die Messung des Achsenwinkels (der opt. Binormalen) wurde in Fällen, wo er ziemlich klein war, in der gewöhnlichen Art an Platten, die annähernd senkrecht zur ersten Mittellinie waren, bestimmt. Das verwendete Instrument war der große neue Achsenwinkelapparat nach Groth, konstruiert von Fueß.

Um einen infolge der nicht ganz senkrechten Lage der ersten Mittellinie zu der Plattennormale verursachten Fehler nicht zu begehen (schon infolge der Dispersion der Bissektrix läßt sich eine solche Lage nicht immer erreichen), wurde in der Regel nicht direkt der scheinbare Winkel zwischen den beiden Achsen, sondern der scheinbare Winkel zwischen der Achse und der Plattennormale gemessen und aus diesem sowie bekanntem β die wahren Winkel der Plattennormale zu den beiden Achsen, aus welchen sich $2V$ ergibt, erhalten.

Auf diese Weise bekommt man nicht nur den Achsenwinkel, aber auch, genauer wie auf irgendwelche Art, zugleich die Auslöschungsschiefe, wenn man die Koordinaten der Plattennormale kennt.

Die Messung der Lage der Plattennormale geschah entweder mit dem zweikreisigen Goniometer oder es wurde der Winkel der angeschliffenen Fläche zu zwei nicht gegenüberliegenden Spaltflächen gemessen und hieraus die räumlichen Koordinaten der Plattennormale berechnet.

Die besprochene Art der Bestimmung des Achsenwinkels ist nur dann richtig, wenn die Platte zu der Achsenebene senkrecht steht, in den monosymmetrischen Amphibolen also in der Orthozone liegt. Doch ist der infolge kleiner Abweichung der Platte von der Orthozone entstandene Fehler sehr gering, besonders wenn die Platte beinahe senkrecht zu der Mittellinie ist, weil ja, wenn die Abweichung der Plattennormale in der durch die Mittellinie gehenden und zur optischen Achsenebene senkrechten Ebene stattfinden würde, überhaupt kein Fehler vorhanden wäre.

Das von der Platte reflektierte Bild des Durchschnittspunktes der beiden Fäden erscheint, wenn die Achsenebene parallel dem horizontalen Faden ist, welche Einstellung am sichersten durch Beobachtung zwischen parallelen Nicols zu erreichen ist, im Falle einer kleinen Abweichung der

Plattennormale von der Achsenebene etwas nach oben oder unten verschoben; man bringt also nicht den Mittelpunkt des Fadenkreuzes (den Durchschnittspunkt der beiden Fäden), sondern nur das reflektierte Bild des vertikalen Fadens mit dem direkt gesehenen zur Koinzidenz.

Die Beobachtungen des Achsenwinkels in einer stark lichtbrechenden Flüssigkeit wurden in α-Monobromnaphthalin gemacht.

Die Brechungsindices der angewendeten Flüssigkeit wurden in einem Hohlprisma mit planparallelen Wänden (der brechende Winkel 60°) mit eingetauchtem Thermometer bestimmt:

$$T\ 21 \cdot 65° \qquad n_D = 1 \cdot 65770.$$

Die Dispersionszahlen wurden wegen der sehr starken Änderung des Brechungsindex bei Temperaturveränderung so erhalten, daß nach jeder Bestimmung die Bestimmung für Na-Licht vorgenommen wurde, so daß man bei derselben Temperatur die Brechungsindices n_λ und n_D erhält. Die Dispersion aber ist für die gewöhnlich kleinen Temperaturunterschiede wenig empfindlich.

Es wurde gemessen:

T 21—21·75°

	λ	$n_D - n_\lambda$
Ka	767—770	+0·01807
Sr.........		+0·01142
Li.........	671	+0·01026
Ca	602	+0·00253
Na	589	—
Ca	559	—0·00623
Tl.........	535	—0·01025
Sr.........	461	—0·03313
Cs	456—458	—0·03512

In vielen Fällen läßt sich der Achsenwinkel infolge der Größe und der eintretenden Totalreflexion nicht direkt messen.

auch braucht man zur Messung des Achsenwinkels an Präparaten senkrecht zur Mittellinie größere Platten, welche man nur selten zur Verfügung hat.

Es wurde also hier jede Achse für sich bestimmt, indem Platten angeschliffen wurden, die annähernd senkrecht zur Achse sind und die Position der Achse zu der bekannten Plattennormale bestimmt wurde.

Die Methode, daß man Platten, an welchen eine Achse austritt, anschleift, die Lage der Plattennormale in bezug auf die Krystallachsen festsetzt und dann mit Hilfe verschiedener mikroskopischer Methoden die Lage der Achse zu der Plattennormale und den etwa sichtbaren Spaltrissen bestimmt, ist seit langer Zeit im Institut von Prof. Becke in Anwendung.

Wülfing bestimmt die Lage der einzelnen Achsen mit dem Achsenwinkelapparat, indem er die Neigung der in Luft austretenden Achsen zu der Plattennormale und noch einer anderen Fläche mißt.

Tschermak (l. c., 1871) bestimmte den Winkel zwischen der (100)-Fläche und der auf ihr austretenden Achse (in Hornblenden).

Hier wurde folgendes Verfahren angewendet: Es wurden Flächen angeschliffen, deren Normalen einen nur sehr kleinen Winkel mit der optischen Achse bilden; eine etwa ungenaue Kenntnis der Dispersion von β hat für die Messung der Dispersion der Achsen hier folglich fast keinen Einfluß. Die Einstellung des Präparates im Achsenwinkelapparat und Bestimmung der Position der Achse in bezug auf die Plattennormale geschah so, wie oben angeführt. Weicht die Plattennormale um einen kleinen Winkel von der Achsenebene ab, so wird der Ort der scheinbaren Achse in einer durch die Plattennormale und die »wahre« optische Achse bestimmten Ebene abgelenkt. Die Verhältnisse sind stark übertrieben in Fig. 1 dargestellt. Ist die Achsenebene so eingestellt gewesen, daß sie parallel dem horizontalen Faden des Okulars vom Achsenwinkelapparat ist und liegt der Pol der Plattennormale (N) etwas höher oder tiefer, so messen wir den Abstand vom

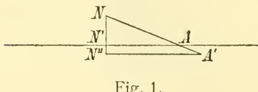


Fig. 1.

reflektierten Bilde des vertikalen Fadens zu A', also $N''A'$ statt $N'A$ (A ist der Achsenpunkt). Aus dem Sinusverhältnis kann man leicht den Wert $N'A$ finden, wenn die Abweichung der Plattennormale, deren Projektion auf die Achsenebene der Punkt N' ist, und der Brechungsindex β bekannt sind.

Die Korrektur ist in der Regel äußerst klein und bei $NN' =$ zirka $20'$, $N'A < 1°$ kann sie vernachlässigt werden. Der Abstand cN' berechnet sich aus den Koordinaten von N. (C — Vertikalachse.)

Aus bekannten Brechungsindices berechnet man den Achsenwinkel, respektive aus zwei Brechungsindices und dem Achsenwinkel den dritten, wozu die Bartolinischen Formeln sehr geeignet sind. Bei kleiner Doppelbrechung machen sich geringe Unterschiede in den Brechungsindices sehr stark geltend.

Oft kommt aber der Fall vor, daß man nur den mittleren Brechungsindex β, die Doppelbrechung und den Achsenwinkel messen kann. Aus diesen Größen lassen sich aber auch die beiden anderen Brechungsindices ableiten.

Aus dem Ausdruck

$$\operatorname{tg} V_\alpha = \frac{\alpha}{\gamma} \sqrt{\frac{\gamma^2 - \beta^2}{\beta^2 - \alpha^2}} \qquad (1)$$

ergibt sich nach einiger Umformung:

$$\gamma^4 - 2C\gamma^3 + (C^2 - \beta^2)\gamma^2 + (2C\beta^2 \cos^2 V)\gamma - C^2\beta^2 \cos^2 V = 0, \qquad (2)$$

$$\text{wo } C = \gamma - \alpha,$$

für optisch negative Krystalle.

Für optisch positive lautet die Gleichung:

$$\gamma^4 - 2C\gamma^3 + (C^2 - \beta^2)\gamma^2 + (2C\beta^2 \sin^2 V)\gamma - C\beta^2 \sin^2 V = 0. \qquad (2')$$

Da man den Wert von γ und α ungefähr von vornherein kennt und nur die vierte Dezimale der Brechungsindices zu berechnen hat, so führt hier die Newton'sche Methode rasch zum Ziele. Nimmt man in (1) für γ als erste Annäherung den Wert $= a$ an, so ergibt sich die Korrekturgröße h, um den nächsten Annäherungswert $(a + h)$ zu bekommen, aus

$$h = -\frac{f(a)}{f'(a)}.$$

Eine kleine Ungenauigkeit in der Messung des Achsenwinkels, ebenso der Doppelbrechung macht hier nicht viel aus. So z. B. aus $2V_\alpha = 79° 49'$, $\beta = 1·6297$, $\gamma-\alpha = 0·0271$ erhält man

$$\gamma = 1·6410$$

Für einen Achsenwinkel von $2V = 80°$, der also um 11′ fehlerhaft bestimmt würde, wurde γ nicht einmal um eine Stelle der vierten Dezimale größer (1·64106).

Nimmt man $\gamma-\alpha = 0·0270$, so ist der Unterschied in γ noch nicht nennenswert.

Der dem Fueß'schen Achsenwinkelapparat beigegebene Erhitzungskasten läßt sehr viel zu wünschen übrig; Laspeyres[1] hat gezeigt, daß die Temperaturdifferenz zwischen den Angaben der beiden Thermometer und eines an Stelle des Krystalls angebrachten bei 100° zirka 13° betragen kann.

Um die Wärmeabgabe des Apparates zu verlangsamen, wurde hier der Apparat mit einem Asbestfutteral umgeben.

Auf die Messung des Verlaufes der Änderung der Temperatur, wie dies öfter geschieht, wurde trotzdem verzichtet, die Beobachtung nur auf zwei Temperaturen beschränkt und die Ablesungen erst dann gemacht, nachdem die Thermometer längere Zeit dieselbe Temperatur zeigten. Schwankungen der Temperatur waren hier nicht zu verhüten. Es kommt hier aber nicht nur auf die Verschiedenheit der Temperatur an verschiedenen Stellen an, sondern es bedarf längerer Zeit, bis die Platte die Temperatur der Umgebung angenommen hat. Davon, wie lange es dauert, überzeugt man sich am besten bei dilatometrischen Versuchen; in einem dem von Benoît konstruierten analogen Dilatometer, in welchem die Platte bei konstanter Temperatur in zwei ineinander gestellten, gut schließenden, dicken, kupfernen Kasten eingeschlossen ist und die Änderung der Dicke der Luftschichte zwischen der Krystallplatte und einer plankonvexen Linse mittels Beobachtung der Interferenzstreifen im homogenen Licht gemessen wird, dauert es mindestens $1^1/_2$ Stunden nach der Erreichung der notwendigen

[1] Mineralogische Bemerkungen III, Z. f. K., I.

Temperatur, bis keine größeren Verschiebungen der Lage der Interferenzstreifen zu sehen sind.

Infolgedessen ist eine häufigere Ablesung der Winkelwerte noch während der Temperaturänderung zwecklos, auch wenn eine vollkommene Isolierung der Platte möglich wäre.

Beobachtet man die Änderung der Lage einer Achse zu der Plattennormale an einer beinahe senkrecht zur Achse geschnittenen Platte bei verschiedenen Temperaturen, so kann man die Position der Achse bei gegebener Temperatur ableiten, auch ohne die Änderung von β zu kennen, besonders an solchen Substanzen, wo diese Änderung gering ist, weil so kleine Änderungen der Brechungsexponenten bei der Reduktion von so kleinen scheinbaren Winkeln auf wahre, beinahe nicht zur Geltung kommen.

Man kann also $2V$ bei beliebiger Temperatur bestimmen. Beobachtet man außerdem den scheinbaren Achsenwinkel bei derselben Temperatur, so ergibt sich $\beta = \frac{\sin E}{\sin V}$ bei gegebener Temperatur. Dies ist natürlich nur dann anwendbar, wenn auch die Änderung des Achsenwinkels nicht sehr groß ist.

Die Änderung des Achsenwinkels von Gyps konnte ich mit gewöhnlicher Vorrichtung mit ausreichender Genauigkeit unmöglich verfolgen.

Außer den Bestimmungen mit dem Achsenwinkelapparat wurden auch die von Prof. Becke entwickelten mikroskopischen Methoden der Achsenwinkelmessung, besonders bei dunklen Hornblenden, verwendet, wie dies auch weiter angegeben ist.

Orientierte Präparate wurden mit Hilfe des Parallelschleifers von Fueß, später mit dem Apparat von Wülfing hergestellt.

An großen monoklinen Krystallen ist es zweckmäßig, die Untersuchung an einer Platte parallel (010) der Symmetrieebene anzufangen, weil man an einer solchen, wenn auch undurchsichtigen Platte die ganze Orientierung mit dem Totalreflektometer rasch finden kann: Brechungsindices, Achsenwinkel, Auslöschungsschiefe.

Bei Krystallen, deren optische Achsen in der Symmetrieebene liegen, braucht der Achsenwinkel nicht erst aus den Brechungs-

indices oder bloß aus dem Winkel der Totalreflexion (Viola) berechnet werden; er kann sofort durch Einstellung der Stellen, wo die veränderliche Grenzlinie die unveränderliche (die β entspricht) schneidet, am Horizontalkreise mit einer Genauigkeit von zirka 1° (bei Tremolit) abgelesen werden, was natürlich von der Doppelbrechung abhängig ist.

Der Pleochroismus wurde durch Angabe der für die entsprechende Schwingungsrichtung am meisten ähnlichen Farbe der Radde'schen Farbenskala sowie der Plattendicke charakterisiert. Doch sind die Eigenfarben zu eigenartig, um einen sicheren Vergleich zuzulassen und ohne genaue Messung der Durchlässigkeit für verschiedene Farben bei bekannter Dicke wird es schwerlich möglich sein, präzisere Angaben zu erhalten.

Um durch verschiedene Färbung der parallel γ und β schwingenden Strahlen in Amphibolen bei der Beurteilung der Intensitätsunterschiede nicht irregeleitet zu werden, muß man mindestens Farbenfilter anwenden.

Zur photometrischen Untersuchung wurde die von Königsberger[1] angegebene, später von Ites[2] benützte sehr genaue Methode gewählt, weil sie bei ihrer großen Genauigkeit an sehr kleinen Präparaten anwendbar ist.

Es wird hierbei die Intensität eines von den zwei gleich starken, senkrecht zueinander polarisierten Lichtbündeln durch Einschalten der zu untersuchenden absorbierenden Platte verändert und dann der zur abermaligen Herstellung der gleichen Intensität notwendige Drehungswinkel des Polarisators gemessen. Die Gleichheit der Intensität wird leicht und sicher erkannt, indem man die beiden Strahlenbündel wieder vereinigt und durch eine Savart'sche Platte durchgehen läßt. Die Interferenzstreifen, welche nur, wenn polarisiertes Licht

---

[1] Königsberger, Über die Absorption des Lichtes in festen Körpern. Habilitationsschrift der Universität Freiburg im Br., Leipzig 1900. — Über ein Mikrophotometer. Zeitschr. für Instrumentenkunde, 1901.

[2] Petrus Ites, Über die Abhängigkeit der Absorption des Lichtes von der Farbe in kryst. Körpern. (Von der philosophischen Fakultät der Universität Göttingen gekrönte Preisschrift.) Göttingen 1903.

durchgeht, bei Beobachtung mit einem Analysator entstehen, müssen bei gleicher Helligkeit beider Teile verschwinden.

Das Instrument, welches dem von Königsberger und von Ites verwendeten außer einigen Modifikationen wesentlich gleich war, sowie der Vorgang der Untersuchung möge hier beschrieben werden.

Als Montierungsstativ diente hier das Mikroskop von Fueß mit gleichzeitig drehbaren Nicols. Es eignet sich vorzüglich zu unserem Zwecke, weil man die Hauptbestandteile des Instrumentes nicht mittels einer besonderen Vorrichtung mit dem Montierungsinstrument zu verbinden braucht und sie einfach an den Mikroskoptisch festklemmen kann, wodurch beinahe jede Adaptierungsarbeit wegfällt. Auch kann man hier den Drehungswinkel des von dem Mikroskoptisch ganz unabhängig drehbaren Polarisators sehr bequem an dem neben dem Okular sich befindenden Teilkreis (auf 5′ genau) ablesen.

Der untere Nicol wird, um eine störende Ablenkung der Lichtstrahlen zu beseitigen, nach Königsberger durch ein Thomson'sches Prisma ersetzt. Die Beleuchtungslinse wurde abgeschafft.

Der Mikroskoptisch wird fest angeschraubt und an ihm die wesentliche Vorrichtung mit starken Klemmen befestigt.

Diese Vorrichtung besteht aus einer Metallhülse, in welcher eine planparallele Kalkspatplatte in drehbarer Fassung sich befindet. Die Kalkspatplatte ist so eingestellt, daß ihre glatten Spaltflächen senkrecht zur Hülsenachse liegen. Am Ende der Hülsenachse befindet sich eine Metallplatte, welche mit drei Schrauben mit einer zweiten ebensolchen so verbunden ist, daß durch Drehung der drei Schrauben die Hülsenachse und die Normale der Kalkspatplatte beliebig geändert werden kann. Zur Festhaltung der gewählten Stellung dienen noch zwei Schrauben, deren Windungen nur in der unteren Platte eingreifen und so die beiden Platten fest anziehen sollen.

In der Hülse befindet sich unter dem Kalkspat eine Blende, die mit Hilfe eines Stiftes um zirka 90° in ihrer eigenen Ebene gedreht werden kann. Als Blende wurde nach Siedentopf und Ites ein aus zwei kreisrunden gleichen Löchern bestehendes Doppeldiaphragma gewählt; der Abstand der Löcher

ist so gewählt, daß von den vier durch den Kalkspat gesehenen Bildern zwei (ein ordentliches und ein außerordentliches) bei entsprechender Stellung des Kalkspates zur Deckung gebracht werden.

Unter der Blende befindet sich eine mit einer Feder gut angedrückte Vorrichtung zum Einschieben von Schablonen, auf welchen die zu untersuchende Platte orientiert und unter eines der zwei Löcher gebracht wird.

Die Hülse wird mit der unteren Platte in beliebiger Stellung an den Mikroskoptisch festgeklemmt.

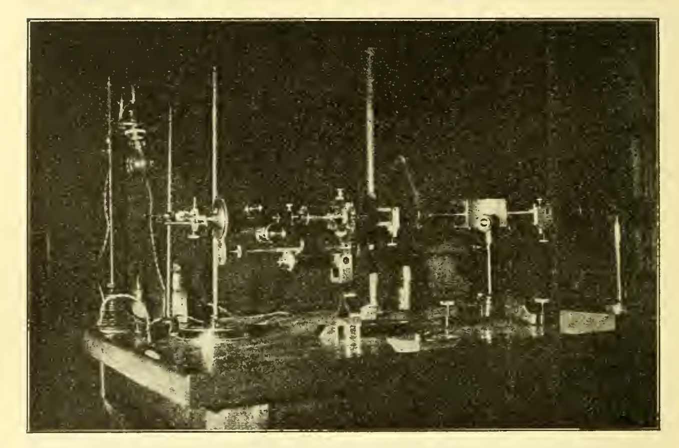


Fig. 2.

Am Mikroskoptubus wird nichts geändert. Die durch das Doppeldiaphragma durchgehenden Strahlen werden im Kalkspat zerlegt und mit dem Mikroskop (schwache Vergrößerung, Obj. 00) beobachtet.

Als Savart'sche Platte dienten zwei Quarzplatten von je 0·25 *cm* Dicke, entsprechend orientiert. Sie wurden aber nicht gleich oberhalb des Objektives eingeschoben, wobei die Beobachtung mit einem Fernrohr nötig wäre, sondern oberhalb des Okulars in der Fassung eines vom Mikroskop unabhängigen unbeweglichen Analysators befestigt.

Die Kalkspatplatte wurde mit Hilfe der Autokollimation, genauer nach der Königsberger'schen Methode nach Ites durch Aufsuchen derjenigen Stelle, für welche die Interferenzstreifen bei der Drehung des Polarisators um genau 180° verschwinden, zur Mikroskopachse senkrecht gestellt.

Die Schlittenvorrichtung des Mikroskoptisches erlaubt, Parallelverschiebungen des Instrumentes (somit dessen Zentrierung) leicht vorzunehmen.

Die Orientierung des Präparates, dessen Hauptschwingungsrichtungen dem Hauptschnitte der Kalkspatplatte parallel und senkrecht sein müssen, geschah ebenfalls in derselben Weise wie bei Königsberger und Ites.

Es wurde eine vollständig durchsichtige doppelbrechende Platte, deren Schwingungsrichtung parallel und senkrecht zu einer gut einstellbaren Kante sind (z. B. Anhydrit), vorerst annähernd unter einem anderen Mikroskop so eingestellt, daß, wenn der Kalkspat auf Dunkelheit eingestellt war, die Einschiebung der Platte keine Aufhellung bewirkte.

Das genaue Zusammenfallen der Hauptschnitte wird aber erst aus der Nichtbeeinflussung der Winkel, bei welchen die durch die Savart'sche Platte bewirkten Interferenzerscheinungen verschwinden, erkannt; wenn keine absorbierende Platte eingeschaltet ist, sollen diese Stellen um 90° voneinander entfernt sein.

Diese Lage wird durch vorsichtiges Drehen der Kalkspatplatte in ihrer Fassung erreicht; um die geforderte Lage der Bilder des Doppeldiaphragmas gegeneinander herzustellen, ist die Blende drehbar gemacht worden.

Nun braucht man nur den Winkel zwischen der Kante der Schablone und des Präparates zu messen und die doppelbrechenden Platten so einzustellen, daß ihre Hauptschwingungsrichtungen gleiche Winkel mit der Schablonenkante einschließen.

Als günstigste erwies sich diejenige Stellung der Blende, bei welcher die beiden untersuchten Bilder (o. und a. o.) sich vollständig decken, weil dann physiologische Fehler sich weniger geltend machen.

Die obere Blende (unter dem Okular) braucht nicht so stark angezogen werden, bis die beiden anderen verschwinden.

Das ganze Instrument wird horizontal gestellt.

Um homogene, gleichmäßige Beleuchtung zu erzielen, wurde, dem Beispiel Ites' folgend, vor dem Austrittspalt des Monochromators ein passendes Goniometerfernrohr eingeschaltet und ein kreisrundes Bild an dem Doppeldiaphragma entworfen.

Die Anordnung des Instrumentes illustriert Fig. 2.

Die nötigen Teile des Instrumentes sind in den Werkstätten der Firma Reichert in Wien ausgeführt worden.

Die photometrische Untersuchung konnte vorderhand nur an zwei Gliedern durchgeführt werden. Die diesbezüglichen Zahlen und sich ergebenden Schlüsse sollen in einer folgenden Schrift zusammengestellt werden.

Für stark absorbierende Krystalle hat das gewöhnliche Gesetz von Fresnel

$$\frac{m^2}{a^2 - V^2} + \frac{n^2}{b^2 - V^2} + \frac{p^2}{c^2 - V^2} = 0$$

keine Gültigkeit mehr und an seine Stelle kommt ein modifiziertes, wo an Stelle von a^2, b^2, c^2 (a Hauptfortpflanzungsgeschwindigkeit) komplexe Größen eintreten.

Ist die Absorption nur gering wie in Krystallen, die im durchgehenden Lichte noch untersucht werden können, so kann man das Quadrat des Absorptionsindex gegen 1 vernachlässigen und es ergibt sich, daß für solche Körper das Fresnel'sche Gesetz annähernd richtig bleiben sollte. Bloß in den Richtungen, die den optischen Achsen nahe liegen, wo die Differenz der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten sich $= 0$ nähert, gelten andere Gesetze wie sonst, die schwarze Isogyre ist in pleochroitischen Krystallen durch einen hellen Fleck unterbrochen, nur in den Stellungen, wo die Hauptschwingungen der Nicole und des Präparates zusammenfallen, ist der Balken schwarz.

Diese Folgerung der Theorie wurde auch bestätigt.

An dunklen Hornblenden, die sehr stark pleochroitisch waren, habe ich folgende Erscheinungen, die mit der Absorption in Zusammenhang zu bringen sind, beobachtet:

1. Die Grenze der Totalreflexion wird sehr undeutlich.

Wegen des starken Pleochroismus sieht man noch eine ziemlich scharfe Grenze für α, während man für γ entweder gar keine oder nur sehr verwaschene Grenze zu sehen bekommt. Die Erscheinung ist oft beobachtet worden.

In Becker's Krystalloptik (1903) ist die Intensität des reflektierten Strahles in Abhängigkeit von dem Einfallswinkel graphisch dargestellt für durchsichtige und absorbierende Krystalle von demselben Brechungsexponenten.

Die entsprechende Kurve, welche beim durchsichtigen Körper einen scharfen Knick zeigt, zeigt für absorbierende Krystalle nur eine Abrundung.

2. Die Erscheinungen, welche in polarisiertem Lichte zwischen gekreuzten Nicols mit Kompensator von Babinet beobachtet werden, zeigen große Unterschiede von den an durchsichtigen beobachteten.

Das gewöhnliche Verhalten durchsichtiger Krystallplatten ist folgendes: War die Marke auf den schwarzen (im weißen Lichte) Mittelstreifen vorher eingestellt, bevor die doppelbrechende Platte eingeschoben wurde, so bleibt er an seiner Stelle nach der Einschiebung der Platte nur dann, wenn die Hauptschwingungsrichtungen der Nicole und der Krystallplatte zusammenfallen (also in der Auslöschungsstellung). Dreht man die Platte von einer solchen Stellung um 45°, so erscheint der Kompensationsstreifen verschoben nach rechts, respektive links, je nachdem die optische Wirkung der Platte einer Verdickung oder Verdünnung der Quarzkeile gleichkommt. Dreht man die Platte in der entgegengesetzten Richtung, so wird der Kompensationsstreifen in der 45°-Stellung auf der entgegengesetzten Seite von der Marke sichtbar.

Stellt man eine Platte | 010 von Arfvedsonit ein, so sieht man bei scharfer Beleuchtung deutliche Interferenzstreifen, aber in keiner Stellung fällt der Kompensationsstreifen mit der Marke zusammen, er ist immer verschoben. Dies entspricht dem Mangel an Auslöschung. Ferner zeigt sich, daß die Verschiebung

immer in derselben Richtung erfolgt, also nur nach links oder nur nach rechts, und es gelingt nicht, den Kompensationsstreifen auf der anderen Seite der Nullstellung zu erhalten. Die Richtung der Verschiebung hängt ab von der Stellung der Nicols, von der Art des Aufliegens der Platte, ob die 010- oder die 0$\bar{1}$0-Fläche am Mikroskoptisch aufliegt etc. Die sehr komplizierten Verhältnisse sollen später näher erörtert werden.

Unsymmetrische Verschiebung des Streifens auf beiden Seiten wurde bei mehreren schwarzen Amphibolen beobachtet, doch ist der Pleochroismus hier schwächer und offenbar die Abweichung vom gewöhnlichen Verhalten kleiner.

3. Im konvergenten Lichte zwischen gekreuzten Nicols wird folgendes beobachtet:

Schnitte aus der Orthozone lassen im allgemeinen die normalen Isogyren erkennen. Nur Schnitte senkrecht zu den Achsen zeigen in der ersten und zweiten Hauptlage ebenfalls scharfe Isogyren, bei Drehung des Präparates werden sie aber undeutlich in der Nähe der optischen Achse, sogar gänzlich durch einen hellen Fleck durchbrochen.

Ist die Doppelbrechung klein und muß man wegen starker Absorption sehr dünne Präparate anwenden, so wird der Austrittspunkt der Achse ganz unkenntlich. Diese Erscheinung in pleochroitischen Krystallen ist in den meisten Lehrbüchern theoretisch abgeleitet, wie erwähnt.

In den hier untersuchten Hornblenden treffen wir sie bei der H. v. Edenville, vom Vesuv, und vor allem ganz sonderbare Erscheinungen bei dem Arfvedsonit.

Platten ∥ der Symmetrieebene zeigen auch im homogenen parallel polarisierenden Lichte keine deutliche Auslöschung. Im weißen sieht man nur Farbenänderung (rötlichgelb-grün) infolge von großer Bisectricendispersion (von rot bis blau bis 20°), im monochromatischen sieht man nur ein Intensitätsminimum, aber keine vollständige Auslöschung.

Die Erscheinung kann nicht auf Zwillingsbildung zurückgeführt werden, weil solche an keinem Schnitt beobachtet wurde, und die gewöhnliche Art der Verzwilligung der Hornblende hier keinen Einfluß hätte (sie wurde aber auch nicht

beobachtet) und vor allem, weil die Erscheinung von der Wellenlänge des angewendeten Lichtes abhängig ist.

Für Blau und Grün ist das Intensitätsminimum noch gut einstellbar, während für Gelb nur ein sehr undeutlicher Intensitätsunterschied bei der Drehung der Platte wahrzunehmen ist, vorausgesetzt, daß man genügend starke Lichtquellen anwendet (starke Bogenlampe und Monochromator, starkes Na-Licht).

Die einfachste Erklärung dieser Erscheinung, daß in der Nähe der Normalen zu 010 die optischen Achsen austreten, stoßt nun auf Schwierigkeiten, denn im konvergenten Lichte, in welchem man hier den Austrittspunkt einer Mittellinie eines sehr kleinen Achsenwinkels zu beobachten hätte, sieht man überhaupt in keiner Stellung die ein schwarzes Kreuz bildenden Isogyren, nur in der Stellung der Platte, in welcher die Schwingungsrichtungen der Platte und der Nicols (für das betreffende Licht) zusammenfallen, erscheinen am Rande des Gesichtsfeldes schwarze Flecken; bei der Drehung der Platte verschwinden sie aber sehr rasch.

Legt man im Na-Licht auf eine Arfvedsonitplatte ein $^{1}/_{4}\,\lambda$-Undulationsblättchen, so daß die Schwingungsrichtungen der Platten beinahe übereinstimmen, so wird die Auslöschung bei gewisser Stellung der Platte vollständig.

Diese Erscheinungen sind hier angeführt, um die sich bietenden Schwierigkeiten zu zeigen. Die Erscheinungen als solche sollen erst näher untersucht werden. Es müssen hier aber schon andere Methoden in Anwendung kommen.

Chemische Untersuchung.

Bei der Ausführung der Analysen wurde der übliche Gang, wie er im Laboratorium Hofrat Ludwig im Gebrauch ist, befolgt. Es wurden auch Hinweise und Ratschläge von Hillebrand u. a. Leitfäden, und in den Arbeiten von Penfield und Morozewicz berücksichtigt.

Die Kieselsäure wurde in den fluorarmen Hornblenden in der gewöhnlichen Art bestimmt. In den fluorreichen Amphibolen von Pargas und Russel wurde sie in einer besonderen Portion nach der Methode von Berzelius bestimmt: die

Schmelze mit $K_2CO_3 + Na_2CO_3$ nur mit heißem Wasser ausgezogen und der gelöste Teil der Kieselsäure durch Erwärmen mit $(NH_4)_2 CO_3$ und endlich mit ammoniakalischer Zinklösung gefällt. Sonst läuft man Gefahr, daß die Alkalifluoride durch Abdampfen mit HCl am Wasserbad zersetzt werden und ein Teil der Kieselsäure als Siliciumfluorid verdampfen würde.

Die Trennung des Mangans von $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ geschah durch Kochen der neutralen Lösung mit Natriumacetat in einem Glaskolben. Das Mangan wurde nachher als Sulfid gefällt.

Bei der erwähnten Methode der Trennung des Mangans von $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ geht leicht ein Teil der Tonerde in die Lösung und fällt erst mit Mangan aus und es muß sehr vorsichtig umgegangen werden.

Bei geringeren Mengen von Mangan wurde deshalb zuerst der ganze Mangangehalt mit dem Eisen gesammelt, indem der nach der Fällung mit Alkalihydrat, respektive Ammon in der Lösung zurückgebliebene Rest durch Kochen mit Wasserstoffsuperoxyd ausgeschieden wurde. Der Fe_2O_3- und MnO-Niederschlag wurde in Säure aufgelöst und erst jetzt die Trennung mit Natronacetat vorgenommen.

Die Titansäure wurde kolorimetrisch bestimmt. Dem Nachteil der Methode, daß man, um Gleichheit der Intensität der Färbung mit freiem Auge beurteilen zu können, die Lösung sehr stark verdünnen muß, könnte leicht nachgeholfen werden, wenn man dazu irgend ein Photometer verwenden würde, etwa das vorher beschriebene, wo man aus dem Verschwinden der Interferenzerscheinungen die Gleichheit der Intensität ganz objektiv feststellen kann.

Es würde eventuell vielleicht auch bloße Bestimmung der Durchlässigkeit bei bekannter Dicke genügen, wenn man sich vorher aus Beobachtungen an bekannten Lösungen eine Kurve konstruiert hätte.

Die Niederschläge von Al_2O_3, Fe_2O_3 waren selbstverständlich zweimal gefällt.

Die Trennung von FeO und Fe_2O_3 geschah entweder nach der Methode des Aufschließens mit $H_2SO_4 + HFl$ im zugeschmolzenen Rohr oder nach der Pebal-Doelter'schen Methode.

Auch der Niederschlag von CaO muß wegen des hohen MgO-Gehaltes der Hornblenden zweimal gefällt werden, besonders wenn man mit geringen Flüssigkeitsmengen arbeitet. Bei der Trennung von Na_2O von K_2O wurden die neulich von Morozewicz hervorgehobenen Vorsichtsmaßregeln befolgt. (Anz. d. Akad. d. Wiss. in Krakau 1906.) Die Fl-Bestimmung geschah nach den Vorschriften von Penfield und Minor (Am. J. XLVII).

Die Wasserbestimmung bot hier beträchtliche Schwierigkeiten. Die einzige mir zugängliche brauchbare Methode ist hier die von Sipöcz durch Zerlegen der Substanz in einem Platinschiffchen mit $K_2CO_3Na_2CO_3$ in einem Porzellanrohr, durch welches trockene Luft langsam streicht. Das mitgerissene Wasser wird in einem Absorptionsrohr aufgenommen. Bei Anwendung von Methoden, nach welchen die Hornblende bloß in einer Glasröhre erhitzt und nicht zersetzt wird, kann man nicht sicher sein, ob der ganze Wassergehalt tatsächlich abgegeben wurde. Ein Gooch'scher Platintiegel stand mir nicht zur Verfügung.

Nach der Sipöcz'schen Methode erhielt ich aber immer Wasser, auch wenn keine Substanz im Platinschiffchen sich befand. Die Luft vom Gasometer wurde durch mehrere Trockenvorrichtungen mit H_2SO_4 geführt, die Kautschukstöpsel sicher nicht über 100° erwärmt. Das verwendete Natronkalicarbonat vor dem Versuche geschmolzen, rasch gepulvert, mit der Substanz vermengt und zirka 4 Stunden bei 130° C. getrocknet. Das Porzellanrohr früher gut gereinigt und ausgeglüht. Der Wasserüberschuß war aber nicht wegzubringen. Er war ziemlich konstant und betrug bis 0·003 *g* pro Stunde.

Schließlich wurde in der Weise verfahren, daß nach dem Versuch ein Nebenversuch ohne Substanz in derselben Weise gemacht wurde und die Korrektur vorgenommen.

Spezielle Untersuchungen.

Der Übersichtlichkeit wegen wurden hier die Amphibole in folgenden Reihen behandelt:

I. Einfache Verbindungen. II. Doppelsalzreihen.

1. Tremolit—Aktinolith. 2. Tremolit—Pargasit. 3. Pargasit—Gemeine Hornblende. 4. Basaltische Hornblende. 5. Eisenalkalireiche Glieder.

Eine scharfe Trennung einzelner Reihen ist unmöglich, weil nicht nur zwei, sondern mehrere Silikate nebeneinander in derselben Hornblende vorkommen; doch scheint die Trennung der Gruppe I von II in den Eigenschaften dieser Körper berechtigt zu sein.

In Gruppe II ist die von Tschermak u. a. angenommene Trennung der Tremolitsilikate von den aluminiumreichen Hornblenden in der Natur scharf ausgeprägt.

Von einfachen Metasilikaten ist die Magnesiumverbindung rhombisch als Anthophyllit, monoklin als Kupfferit bekannt. Eine rhombisch krystallisierende optisch positive Verbindung von der Zusammensetzung $MgSiO_3$ mit

$$\gamma = 1 \cdot 591 \pm 0 \cdot 003,\ \beta = 1 \cdot 585 \pm 0 \cdot 004,\ \alpha = 1 \cdot 578 \pm 0 \cdot 003,$$
$$\gamma - \alpha = 0 \cdot 013$$

mit eingewachsenen monoklinen Partien mit $c:\gamma = 3$ bis 6° wurde künstlich von Allen, Wright und Clement[1] dargestellt und untersucht. Pleochroismus γ braun $> \alpha$ (lichter), sp. G. = 2·857.

Der Antophyllit zeigt nach vorhandenen, zwischen einander sehr stark differierenden Angaben viel höhere Brechungsindices (β über 1·63) und einen Achsenwinkel von zirka 90°.

Über die Abhängigkeit der optischen Eigenschaften von der chemischen Zusammensetzung bekommt man noch kein klares Bild. Während man gewöhnlich annahm, daß die eisenreicheren Gedrite einen kleineren Winkel der optischen Achsen wie die reinen Antophyllite zeigen, wie dies aus den Untersuchungen von Des Cloiseaux folgte, fand Ussing[2] gerade das Umgekehrte und es würde hier der negative Achsenwinkel mit dem Eisengehalte zunehmen.

Der hohe Wassergehalt der in der Tabelle von Ussing zusammengestellten Amphibole kann aber eine beträchtliche Wirkung ausüben (vgl. Hlawatsch, l. c.).

---

[1] Am. Journ. of Sc., vol. XXII, November 1906.

[2] Z. f. K., XV, p. 611.

Das Calciumsilikat ist als Amphibol noch nicht bekannt. Es gibt eine Reihe von Amphibolen, welche als Mischungen von $\overset{II}{R}SiO_3$ betrachtet werden, in welchen besonders das Eisenoxydulsilikat vorwiegt. So z. B. die schwedischen: Dannemorit, Asbeferrit, Hillangsit, Silfbergit; der Cummingtonit von Massachussets.

Genauer wurde hier nur das Eisenoxydulsilikat untersucht, der Grünerit.

Grünerit von La Mallière bei Collobrières, Dép. du Var (M. J., 3409).

Dieses Mineral, stammend aus der Umgebung von Collobrières in den Montagnes des Mores, wurde im Jahre 1847 von Grüner[1] analysiert. Er fand:

SiO_2	Al_2O_3	FeO	MgO	CaO
43·90	1·90	52·20	1·10	0·50

Es galt längere Zeit für Pyroxen, bis es von Rammelsberg auf Grund Grüner's Analyse der Amphibolgruppe zugeteilt wurde. Die Vermutung, daß hier ein Amphibolmineral vorliegt, hat schon Des Cloiseaux ausgesprochen.

Eine genauere Untersuchung verdanken wir erst Lacroix (Bull. Soc. min., 9, p. 40 [1886]), welcher an einem größeren Krystall die optischen Eigenschaften des Grünerits bestimmte:

Auslöschungsschiefe $c:\gamma = 11$ bis 15°. Doppelbr. $n_g - n_p =$ 0·056. $2E = 95°$. Disp. d. A. $v > \rho$.

Pleochroismus schwach n_g hellbraun. n_m, n_p farblos. Sp. G. 3·713.

Durch Messung des Spaltwinkels mm $55^1/_2$° wurde jeder Zweifel über die Zugehörigkeit dieses Minerals beseitigt. Es zeichnet sich durch sehr feine Verzwilligung nach (100) aus.

Leider haben wir von der chemischen Zusammensetzung des untersuchten Materials keine genauere Kenntnis. Dem ist auch zuzuschreiben, daß in der Mehrheit der mineralogischen Handbücher der Grünerit nicht als sicher angenommen und

---

[1] Compt. rend., XXIV.

auf die Notwendigkeit der nochmaligen Untersuchung dieses Minerals hingewiesen wird.

Die von mir untersuchte Stufe ist ein radial faseriges, asbestförmiges Aggregat eines hellgelblichen Minerals mit Magnetit und zahlreich eingestreuten Granatkörnern.

Unter dem Mikroskop zeigt das gelbliche Mineral eine äußerst feine, lamellare, durch Zwillingsbildung verursachte Absonderung nach (100). Weniger häufig erhält man durch Zerdrücken des Minerals Plättchen nach (010) durch ungemein feine Zwillingslamellen nach (100), die eine schiefe Auslöschung erweisen, kenntlich gemacht.

Die optische Untersuchung konnte nur an dem in einer Flüssigkeit von ungefähr gleichem ($=\beta$) Brechungsindex eingetauchten, durch Zerdrücken des Minerals erhaltenen Schuppen durchgeführt werden und ergab:

Achsenebene || der Längserstreckung || (010).
Auslöschungsschiefe $c:\gamma_{Na} = 10$ bis $11°$. Opt. (—).

Brechungsindices:

	γ	β	α	$\gamma-\alpha$
Na	1·717 (2)	1·697 (5)	1·672 (0)	0·045

Die Bestimmung wurde nach der Immersionsmethode im Jodmethylen sowie zur Kontrolle im Bariumquecksilberjodid vorgenommen und mehrmals wiederholt. Die einzelnen Bestimmungen differieren kaum um 0·0005 voneinander und die dritte Dezimale dürfte richtig sein.

An einem Plättchen || (100) von einer Dicke von zirka 0·035 *mm* wurde $\gamma'-\beta = 0·019$ mit dem Babinet'schen Kompensator gemessen.

Die Höhe der Doppelbrechung konnte wegen der Unsicherheit der Dickemessung mit dem Kompensator hier nicht gemessen werden. Als sehr angenäherte Kontrolle kann man aber unter Vernachlässigung der Dispersion die Interferenzfarbe einzelner Spaltblättchen || (010) benützen unter Zuhilfenahme der M. Lévy'schen Farbentafel und der Verschiebung des Kompensationsstreifens; an einer, das Hellgrün zweiter Ordnung zeigenden Platte wurde eine Verschiebung des Kompensationsstreifens $L_{Na} = 7·54$ beobachtet.

Hieraus ergibt sich unter Annahme der früher angegebenen Doppelbrechung $\gamma-\alpha=0\cdot045$ die Plattendicke zu $d=0\cdot0167$ *mm* (Pl. I).

Nach der M. Levy'schen Farbentafel ist für dieselbe Doppelbrechung zur Erzeugung dieser Interferenzfarbe eine Plattendicke $d=0\cdot0175$ (zirka) notwendig.

An einer anderen Platte (II), welche das Braun erster Ordnung zeigt, wurde nach der zuerst besprochenen Art eine Dicke $d=0\cdot0105$, nach der Farbentafel aber über $0\cdot009$ gefunden.

Die Dispersion der Doppelbrechung stark: $v>\rho$.

	I. Platte	II. Platte
Rot (ung. Li)	0·0434	0·0435
Na	0·045	0·045
Blaues Glas.... .	0·0475	0·0468

Der Achsenwinkel wurde nach der Becke'schen Methode mit dem Zeichentisch an etwas geneigten Plättchen nach (100), an welchen eine Achse und Mittellinie α sichtbar waren, bestimmt. Es ergab sich $2V=80°$ bis $84°$, im Mittel $82°$. Die leicht in das Gesichtsfeld des Mikroskopes hineinzubringende Achse (offenbar A) zeigt eine starke Dispersion $\rho>v$ um α.

Der aus den angegebenen Brechungindices berechnete Achsenwinkel ist $2V=81°\,30'$.

Im allgemeinen werden also die Angaben von Lacroix bestätigt, wenn auch der numerische Betrag der Doppelbrechung geringer, der Achsenwinkel dagegen viel größer gefunden wurde. Bezüglich der Dispersion des Achsenwinkels ist in der Originalarbeit von Lacroix $v>\rho$, im Werke »Mineraux de roches« von Lacroix und M. Lévy und »Min. de France« dagegen $\rho>v$ angegeben, worauf schon Rosenbusch-Wülfing hinwiesen.

Zur chemischen Untersuchung wurde das Material erst mit einem sehr starken Magnet vom Magnetit befreit und nachher unter dem Mikroskop nur die reinsten Splitter ausgesucht.

SiO_2	47·17	0·787	
TiO_2	—	—	
Al_2O_3	1·00	0·010	0·017
Fe_2O_3	1·12	0·007	
FeO	43·40	0·604	0·837
MnO	0·08	0·001	
CaO	1·90	0·034	
MgO	2·61	0·065	
K_2O	0·07	0·001	
Na_2O	0·47	0·007	
H_2O	2·22	0·123	
F_2	0·07	0·002	
	100·11		
$O = Fl_2$	03		
	100·08		

Sp. G. = 3·518 ± 0·01 (Pyknometer).

Würde man den ganzen FeO-Gehalt als $FeSiO_3$ rechnen, so ergäbe sich 80% $FeSiO_3$.

Rechnet man die gewöhnlich angenommenen Silikate aus, so das Natriumalumosilikat unter Zugrundelegung des Natrongehaltes, die beiden Aktinolithsilikate, wobei man erstens als Ausgangspunkt den Magnesiagehalt nimmt, das eisenhaltige Glied aber unter Zugrundelegung des übrig gebliebenen CaO-Gehaltes berechnet, so bekommt man:

$Na_2Al_2Si_4O_{12}$	3·35
$CaMg_3Si_4O_{12}$	9·05
$CaFe_3Si_4O_{12}$	6·21
$Fe\overset{III}{Fe_2}SiO_6$	2·04
$FeSiO_3$	73·85

[1] Wie bei Penfield und Stanley (l. c.) wurde auch in dieser Untersuchung $H = 1$ angenommen.

Einen großen Teil des Wassergehaltes kann man in der Metasilikatformel mit der übrig gebliebenen Kieselsäure nicht verbinden, was in Betracht der asbestförmigen Beschaffenheit des Minerals erklärlich ist.

Nachdem der Grünerit eine äußerst feine Verzwilligung nach (100) aufweist, so liegt die Frage nahe, ob sich der Unterschied des von mir und von Lacroix gemessenen Achsenwinkels nicht auf Beeinflussung durch Zwillingsbildung zurückführen ließe. Der größere, von Lacroix gemessene Krystall könnte eventuell ein versteckter Zwillingsstock sein.

Die Frage ist nun, ob und in welcher Weise die Lage der Achsen durch solche Zwillingsbildung beeinflußt werden kann.

Es handelt sich hier nicht um Kombination zweier Platten gleicher Dicke in Zwillingsstellung, sondern um die Eigenschaften einer aus außerordentlich dünnen, abwechselnden, sich in Zwillingsstellung befindenden Lamellen zusammengesetzten Säule, welche annähernd das Verhalten eines einheitlichen Krystalls zeigen wird..

Die Mallard'sche Methode der Berechnung der optischen Eigenschaften isomorpher Mischungen, welche eben wegen der angenommenen Inhomogenität der Mischkrystalle nicht ganz stichhältig ist, ist hier vorwurfslos anwendbar.

Nach Mallard kann man die optischen Eigenschaften eines Mischkrystalls durch ein Elastizitätsellipsoid darstellen, dessen Radiusvektor $R = \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2}{m_1 + m_2}$, wo m_1, m_2 die Mengen der sich mischenden Substanzen und r_1, r_2 die entsprechenden Radienvektoren der optischen Elastizitätsellipsoide sind. Dieselbe Regel gilt auch für die Schnittellipsen der betrachteten Ellipsoide.

Der geometrische Ort der Achsen der Mischkrystalle ist nach Michel Lévy, welcher die Mallard'sche Theorie zum Ausgangspunkte seiner Betrachtungen genommen, durch die sogenannte Isopolarisationskurve (und zwar den Abschnitt mit gekreuzten Auslöschungsrichtungen) gegeben. Für eine bestimmte Mischung ergibt sich der Ort der optischen Achsen aus der Lage des durch Superposition der beiden Elastizitätsellipsoide der Endglieder entstandenen Kreisschnittes. Die

durch Superposition der beiden Elastizitätsellipsoide entstandene Fläche ist streng genommen eine achten Ranges, bei schwacher Doppelbrechung aber ist die Abweichung von den Fresnel'schen Gesetzen nicht groß.

Der Kreisschnitt ist für eine beliebige Mischung durch die Bedingung: $m_1(\gamma'_1-\alpha'_1) = m_2(\gamma'_2-\alpha'_2)$ gegeben.

F. Becke[1] wandte die Ideen von M. Lévy und Wulf graphisch in der Weise an, daß er die Isopolarisationskurven in eine Gerade entwickelt und die Doppelbrechungskurven konstruiert. Die Abszisse (die entwickelte Isopolarisationskurve) gibt die Lage des betrachteten Punktes, die Ordinate die Doppelbrechung für den betreffenden Schnitt für die beiden Endglieder an. Dort, wo die Doppelbrechungskurven sich schneiden, ist die resultierende Doppelbrechung $= 0$; dort ist der Ort der optischen Achse.

In unserem Falle eines Zwillings können wir die Stärke der Doppelbrechung für beliebige Richtung in derselben Art bestimmen. Nach Vorgang von Becke wurde zur Berechnung der Doppelbrechung für irgend einen Punkt S des einfachen Krystalls die angenäherte Formel $(\gamma'-\alpha') = (\gamma-\alpha) \sin SA \sin SB$, in welcher SA und SB die Winkel des betreffenden Punktes mit den beiden Achsen sind, benützt. Nur kann man hier die Größe $\gamma-\alpha$ weglassen, weil sie in beiden Gliedern dieselbe ist. Für die in der Zwillingsebene liegenden Schwingungsrichtungen ist der Gangunterschied derselbe.

Der Verlauf der Gangunterschiedskurven muß auf beiden Seiten der Zwillingsebene ein symmetrischer sein. Siehe Fig. 2.

Es ist zu bemerken, daß, nachdem für (100) die gleichnamigen Auslöschungsrichtungen zusammenfallen, die entsprechenden Doppelbrechungen hier auf derselben Seite der Abszissenachse aufgetragen wurden.

Dort, wo die Resultierende der Gangunterschiedkurven der beiden Individuen die Abszisse schneidet, ist der Ort der Achse. Durch solche Zwillingsbildung würde also der Grünerit rhombische Symmetrie erhalten. Die erste Mittellinie würde natürlich $\perp$ zu (100) liegen.

[1] Becke, Die optischen Eigenschaften der Plagioklase. Tscherm. Min. Mitt., XXV, H. 1 bis 3, 1906.

Wie aus der Konstruktion ersichtlich, könnte in einem monoklinen Krystall (Achsenebene in der S. E.) durch Verzwilligung nach einer Fläche aus der Zone [010] die Position der Achsen eine beträchtliche Änderung erfahren, indem eine Achse nach der Richtung der *c*-Achse, die andere Achse aber zu (100) verschoben würde.

1. Die Änderung des Achsenwinkels ist bei sonst gleichen Verhältnissen von der Größe desselben im einfachen Individuum abhängig; je kleiner $2V$ um α, also je größer $\beta-\alpha$, desto mehr wird die Größe des Achsenwinkels durch die innige Verzwilligung beeinflußt. Bei $2V = 90°$ würde gar keine Änderung eintreten.

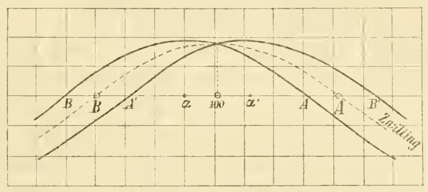


Fig. 3.

Die Abszisse *BA* gibt den Winkelabstand einzelner Punkte aus der Orthozone an. Die Ordinate — die Doppelbrechung.

2. Wir sehen ferner, daß der Betrag der Verschiebung der Achsen von der Auslöschungsschiefe abhängig ist, was ohne weiteres verständlich ist, weil zur Erlangung der rhombischen Auslöschungsschiefe die Mittellinie sich um den Betrag der Auslöschungsschiefe auf (100) verschieben muß. Die Größe der Änderung des Achsenwinkels ist ebenfalls durch die Auslöschungsschiefe φ begrenzt, indem sie zwar von der Größe $\gamma-\beta$ und $\beta-\alpha$ abhängig, das Maximum der Änderung aber durch den Betrag 2φ gegeben ist.

Beim Grünerit würde der Achsenwinkel sehr wenig geändert, $2V = 81°$ statt $82°$ bei einfachen Krystallen.

Hieraus ergibt sich, daß das von Lacroix untersuchte Material eine etwas verschiedene chemische Zusammensetzung hatte.

Die Analyse von Grüner zeigt mehr FeO, dagegen weniger CaO, MgO wie in dem hier untersuchten Mineral, was ebenfalls für Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung sprechen würde.

Nachdem der Grünerit von Lacroix einen höheren mittleren Brechungsindex 1·73 (M. Lévy und Lacroix), höhere Doppelbrechung und größeres spezifisches Gewicht hatte, so könnte man annehmen, daß er eisenreicher war. Übrigens können hier auch chemische Veränderungen, Oxydation zu Fe_2O_3 etc. mitspielen.

Durch Glühen in der Luft am Platindeckel wird dieses beinahe ungefärbte Mineral momentan schwarz, in dünnen Schichten im durchgehenden Licht braunrot mit sehr starkem Pleochroismus $\gamma > \beta$.

Tremolit-Aktinolithreihe.

Im Werke Rosenbusch-Wülfing's sind die optischen Eigenschaften von fünf Tremoliten angeführt: zwei von St. Gotthard nach M. Lévy und Lacroix, ferner der Tremolit von Skutterud nach Penfield und von Gouverneur und Felső Sebes nach Zimányi. Keine von diesen Bestimmungen scheint sich auf chemisch untersuchtes Material zu beziehen. Näheres über die Originalarbeit von Penfield konnte ich nicht erfahren.

Zimányi bestimmte bekanntlich nur die Brechungsindices (mit Totalreflektometer von Kohlrausch).

Der Achsenwinkel des Gottharder Tremolits zeigt eine Differenz von zirka 7° gegenüber dem von Skutterud. Große Differenzen bestehen auch in der Doppelbrechung und den Brechungsindices.

Tremolit von der Schweiz.

Der reinste der hier untersuchten Tremolite ist ein Schweizer Tremolit (M. J. 1050); Fundort: Schweiz, näher nicht angegeben, aber zweifellos liegt hier ein Campo Longo-Tremolit vor.

Es sind größere Krystalle im krystallinen Kalk eingesprengt. Sie zeigen eine für die Tremolite so charakteristische Trübung, stellenweise aber sind sie ganz rein und klar, vollkommen farblos. Die Trübung ist nicht, wie man annehmen könnte, durch Luftporen bewirkt, sondern durch zahlreiche Calciteinschlüsse verursacht. Es scheint, daß die überhaupt so häufige Trübung der Tremolite aus krystallinen

Kalken durch Calciteinschlüsse bewirkt wird; auch sonst pflegen die in körnigen Kalken eingewachsenen Hornblenden, z. B. Pargasit, unregelmäßig eingestreute Calciteinschlüsse zu führen. Das ist auch erklärlich, da die hier in Betracht kommenden Kalke der krystallinen Schieferformation angehören, in welcher nach den Untersuchungen Becke's u. a. alle Bestandteile gleichzeitig entstanden sind; Calcit und Hornblende waren also gleichzeitig krystallisations- und wachstumsfähig.

Die Analyse des sorgfältig mit verd. HCl gereinigten Materials ergab:

SiO_2	58·22	0·971	
TiO_2	—	—	
Al_2O_3	1·37	0·013	
Fe_2O_3	0·04	—	
FeO	0·61	0·009	} 0·963
MnO	0·04	—	
MgO	23·97	0·592	
CaO	12·95	0·233	
K_2O	0·04		
Na_2O	0·24	0·004	
H_2O	2·17	0·121	
F_2	0·17	0·004	
	99·82		
$O = F_2$	0·07		
	99·75		

Sp. G. = 2·980

Die optischen Konstanten sind:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	cA	cB	$2V_\alpha$
671	1·5970	1·6123	1·6241	0·0271	15°29'	65°37'	34°40'	79°43'
589	1·6000	1·6155	1·6272	0·0272	15 25	65 36	34 46	79 38
535	1·6030	1·6189	1·6305	0·0275	15 20	65 34	34 54	79 32
476					15 16	65 31	35 01	79 26
455					15 13	65 31	35 09	79 20

λ	β	Dispersion von $\gamma-\alpha$ (Babinet)	
668	1·6109 (± 0·0002)	668	0·0267
648	1·6120	589	0·0268
589	1·6153	538	0·0271
507	1·6195	440	0·0279
488	1·6215		

Die Untersuchung war durch die besprochenen Calciteinschlüsse erschwert.

Die gefundenen Brechungsindices sind durchwegs kleiner wie die von M. Lévy und Lacroix gefundenen.

$\alpha = 1 \cdot 609$, $\beta = 1 \cdot 623$, $\gamma = 1 \cdot 635$, $c:\gamma = 15°$ im Tageslicht
$\beta = 1 \cdot 622$ » $2V = 88°15'$

Tremolit von Albrechtsberg, Niederösterr. Waldviertel.

Dem Schweizer Tremolit schließt sich nahe an ein Waldviertler mit hellgrünlicher Farbe. Er wurde mir von Hofrat Tschermak zur Untersuchung anvertraut, welcher dasselbe Material chemisch untersuchte.

Die Analyse von Tschermak ergab, daß hier ein sehr reiner Tremolit vorliegt, der aber einen Betrag von 1·98% FeO, also eine geringe Menge von Aktinolithsilikat beigemengt enthält.

Dies äußert sich schon in der Farbe.

Die an zwei Platten erfolgte Bestimmung der Brechungsindices ergab:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$2V_\alpha$ berechnet
671	1·6014	1·6165			
589	1·6044	1·6198	1·6315	0·0271	82° 30′
535	1·6071	1·6229	1·6348	0·0277	

Messung der Dispersion der Doppelbrechung mit dem Kompensator:

λ	$\gamma - \alpha$
668	0·02684
589	0·02709
535	0·02739
512	0·02754
488	0·02784
434	0·02797

Die Position der Achsen konnte hier nicht direkt bestimmt werden, weil die Spaltflächen wegen Neigung des Minerals zur Faserbildung zu schlecht waren, um eine genauere Orientierung einer Platte auszuführen.

Es wurde deshalb ein Dünnschliff so geführt, daß man eine Achse und Mittellinie im Gesichtsfeld hatte, und die mikroskopische, sehr beiläufige, weil mit dem Immersionsobjektiv ausgeführte Messung ergab $2V_\alpha$ ca. $= 82°$.

Die Dispersion der Achse A: $\rho > v$ um α deutlich.
» » » B: viel schwächer, folglich $c:\gamma_\rho > c:\gamma_v$.

Aktinolith von Pierrepont (M. P. J. 936).

Von Pierrepont befindet sich im Mineralogisch-petrographischen Institut eine Druse mit prachtvollen großen Krystallen (bis 3 *cm* in die Breite) in einem Gemenge von kleinen (mit Kalk).

Eine Analyse der grünen Krystalle von Haefcke (Diss. Göt. 1890, Hintze) ergab: SiO_2 55·90, Al_2O_3 1·29, Fe_2O_3 0·78, FeO 2·33, MgO 22·96, CaO 12·25, K_2O 0·66, Na_2O 1·24, Fl 0·62, H_2O 1·98, sp. G. 3·031).

Die Krystalle, die dunkelgrün im auffallenden Lichte erscheinen, sind mit einer hellen, gelblichgrünen Farbe durchsichtig; die Intensität der Färbung steht dem Zillertaler Aktinolith bedeutend nach.

Der Pleochroismus ist sehr stark; bei einer Plattendicke von zirka 1 *mm* ist γ gelblichmeergrün (die Farbe hat keine ähnliche in der Farbenskala von Radde). α hellgelb, entspricht jedenfalls einer v-Intensität der Farbenskala).

Im Na-Licht ergab sich:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	$2V_\alpha$	cA	cB
589	1·6065	1·6210	1·6319	0·0254	16°54′	84°05′	64°51′	31°04′

Dispersion der Achse B: stark $\rho > v$.
» » » A: keine oder Spur von $v > \rho$.

Aktinolith von Zillertal, Greiner.

Zur Untersuchung eines typischen Aktinoliths bot sich vor allem das allgemein bekannte Vorkommen vom Greiner in Zillertal an.

Zur Zeit der Untersuchung waren nur die drei von Hintze angeführten Analysen bekannt, von denen zwei von Beaudant sich offenbar auf eine gemeine Hornblende beziehen, und nur die Analyse von Rammelsberg sich auf den Aktinolith zurückführen ließ. Die Untersuchung von Penfield und Stanley war noch nicht erschienen.

Es wurden sehr reine, durchsichtige Krystalle ausgesucht, die noch vorhandenen Magnetiteinschlüsse wurden mit Hilfe eines starken Magneten weggeschafft, so daß vollständig reines Material verwendet wurde.

Die Analyse ergab:

SiO_2	56·38	0·941	0·941
TiO_2	—	—	
Al_2O_3	1·23	0·001	0·002
Fe_2O_3	0·15	0·001	
FeO	5·26	0·073	0·958
MnO	0·30	0·004	
CaO	12·41	0·222	
MgO	21·74	0·538	
K_2O	0·22	0·002	
Na_2O	0·48	0·008	
H_2O	1·96	0·109	
F_2	0·09	0·002	
	100·22		
$F_2 = O$	0·04		
	100·18		

Geht man von der Zahl für (FeMn)O aus, so berechnet sich 0·204 $Ca(FeMn)_3Si_4O_{12}$, 1·453 $CaMg_3Si_4O_{12}$, also ungefähr 1 : 7.

Sp. G. der reinen Stücke $\left.\begin{matrix}3\cdot042\\3\cdot046\end{matrix}\right\} = 3\cdot044.$

Penfield und Stanley geben an 3·047, Rammelsberg 3·067, nach Goldschmidt 3·041.

Die optische Untersuchung ergab:

	α	β	γ	γ—α [1]	c : γ	cA	cB	$2V_\alpha$
671					16°35'	66°32'	33°22'	80°06'
589	1·6139	1·6297	1·6410	0·0271	16 31	66 35	33 35	79 49
492					16 18	66 38	34 03	79 19
478					16 16	66 39	34 08	79 13

Die Brechungsindices α und γ wurden wegen Kleinheit der zur Verfügung stehenden Krystalle nicht direkt bestimmt, sondern in der p. 893 angegebenen Weise berechnet.

Die Dispersion von β ist:

λ	$\beta_D - \beta_\lambda$
668	+0·0027
648	+0·0023
637	+0·0017
617	+0·0014
589	—
538	—0·0032
488	—0·0067
480	—0·0072
464	—0·0105
452	—0·0119
444	—0·0138
ca. 431	—0·0147

Dispersion von γ—α:

λ	γ—α
668	0·0270
589	0·0274
488	0·0280
464	0·0283
444	0·0284

[1] Mittelwert.

Beim Erwärmen ändert die Achse *A* ihre Lage beinahe gar nicht, die Achse *B* stärker, aber nicht so stark wie beim Pargasit (mit einem kleinen Achsenwinkel). Es wurde beobachtet bei 160° eine Änderung der Lage der Achse *A* um zirka 4′, der *B* um 0° 27′.

T	λ	cA	cB	$c\gamma$	$2V_{\alpha}$
160	589	66° 39′	34° 2′	16° 19′	79° 18′

Der Sinn der Änderung der ersten Mittellinie ist derselbe wie beim Pargasit.

Die Brechungsindices wurden also höher gefunden wie nach älteren Angaben:

Zimányi	$\alpha = 1 \cdot 6116$,	$\beta = 1 \cdot 6270$,	$\gamma = 1 \cdot 6387$ (Na)
M. Lévy und Lacroix	$\alpha = 1 \cdot 611$,	$\beta = 1 \cdot 627$,	$\gamma = 1 \cdot 636$

Nachdem dieses Material auch zur Untersuchung der Absorptionsverhältnisse gedient hat und es von Wichtigkeit war, zu prüfen, wie groß die Homogenität ist, wurde der Brechungsindex β noch an drei Prismen bestimmt, von welchen eines so geschnitten wurde, daß die brechende Fläche senkrecht zu (010) war; die anderen waren Spaltprismen. Die Unterschiede sind sehr gering (0·0002), das Material also ganz homogen.

Es wurde nun eine andere Stufe (M. J. 1044) von diesem Fundort ausgesucht, mit großen Krystallen, welche man bequem mit dem Totalreflektometer untersuchen konnte.

Die Paragenese dieser Krystalle war genau dieselbe (im Talk eingewachsen). Die Krystalle erschienen aber dunkler. Die gefundenen Brechungsindices sind bedeutend höher wie die der vorher untersuchten Krystalle.

λ	α	β	γ	$\gamma - \alpha$	$2V$ ber.
589	1·6209	1·6365	1·6466	0·0257	
535	1·6234	1·6394	1·6495	0·0261	75° 56′

Auslöschungsschiefe auf (010). (Na) 17°.

Die Einstellung der Grenze der Totalreflexion war im Tl- sicherer wie im Na-Licht.

Zur Kontrolle konnte β mit der Prismenmethode an größeren Krystallen wegen Undurchsichtigkeit nicht bestimmt werden, wohl aber an einem ganz kleinen, der schön durchsichtig war. Es wurde gefunden: $\beta_{Na} = 1 \cdot 6328$.

Doppelbrechung mit dem Kompensator:

λ	$\gamma-\alpha$
589	0·0261
538	0·0264
488	0·0267
470	0·0269
433	0·0272

Dispersion:

λ	$\beta_D - \beta_\lambda$
677	+0·0042
668	+0·0035
648	+0·0026
617	+0·0012
589	—
538	—0·0031
507	—0·0054
488	—0·0073
480	—0·0081
471	—0·0093
464	—0·0103
452	—0·0123
444	—0·0140
ca. 431	—0·0155

Es ist hier folglich ein Nebeneinandergehen: Höhere Brechungsindices, kleinere Doppelbrechung zu bemerken. Das spezifische Gewicht ist auch größer. Es wurde an einem ganz kleinen Krystall bestimmt, an welchem der Brechungsindex β gemessen wurde = 3·060.

Trotz der Ähnlichkeit der Analysen (von der Stufe I und der von Penfield und Stanley) kommen also auch verschiedene offenbar eisenreichere, sonst sehr ähnliche Amphibole in ähnlichen Verhältnissen im Zillertal vor.

An den Zillertal-Aktinolithen wurde der Versuch von Schneider[1] und Belowsky[2] wiederholt.

Spaltblättchen, in einem Platindeckel über einem Gebläse erhitzt, werden dunkel, wenn sie auch früher infolge der Dünne beinahe farblos waren. Die Änderung der Farbe ist genau so, wie Belowsky angegeben, d. h. sie werden braun und es entsteht ein starker Pleochroismus $\gamma' > \beta$, während früher kein deutlicher Unterschied der Intensität mit bloßem Auge zu sehen war (für Na ist $\beta > \gamma$ im unveränderten Aktinolith).

Um den Einfluß dieser Änderung auf den Brechungsindex zu finden, wurden zwei Spaltprismen, an welchen der Brechungsindex vorher bestimmt wurde, 30 Minuten lang am Gebläse erhitzt.

Der Prismenwinkel erlitt dadurch eine bedeutende Veränderung; die Richtung der Minimalablenkung bildete jetzt einen anderen Winkel mit den gerade durchgehenden Strahlen, aber der Brechungsindex, welcher jetzt nur innerhalb einer bedeutenden Fehlergrenze zu bestimmen war, zeigte keine bedeutendere Änderung.

Eine solche geglühte Platte zeigt im weißen Lichte keine Auslöschung, und zwar infolge der jetzt eingetretenen enormen Bisectricendispersion. Während die Auslöschungsschiefe für blaue Strahlen sich nicht wesentlich verändert hat, ist die Auslöschungsschiefe für Rot um einige Grade kleiner geworden; es entsteht also eine Dispersion $c:\gamma'_\rho > c:\gamma'_v$, deren Betrag = zirka 4° (auf 110).

Kommt man mit der Flamme direkt an den Aktinolith an, so wird er trübweiß, während er sonst klar bleibt.

Richterit.

Seinen optischen Eigenschaften nach schließt sich der Richterit, ein manganhältiges, aber auch alkalireiches Amphibolmineral, eng an den Aktinolith an. Es sind Natron- und

---

[1] Z. f. K., 18, 584.

[2] N. J. f. M., 1891, I, 292.

Kalirichterite bekannt. Dieser Amphibol hat eine für Manganverbindungen so charakteristische rötlichgelbe Farbe und kommt in Schweden in krystallinen Kalken in Långban vor mit Rhodonit, Schefferit etc. Es sind auch andere Fundorte bekannt.

Optisch ist der Richterit wenig untersucht worden; es liegen nur die Angaben von M. Lévy und Lacroix vor, welche fanden:

$$\alpha = 1\cdot62, \quad \beta = 1\cdot63, \quad \gamma = 1\cdot64, \quad c:\gamma = 20°,$$
$$\text{Opt. } (-), \quad \gamma - \alpha = 0\cdot024,$$

Pleochroismus: γ gelblichbraun, β weißlich, α blaßgelb;

und von Flink, $c:\gamma = 17°$, vor.

Zur Untersuchung lagen mir zwei Stufen vor: eine Druse schön ausgebildeter Krystalle, die aber undurchsichtig waren (M. J. 9908), und eine zweite mit schönen, vollkommen durchsichtigen Krystallen (M. J. 8523), welche in Kalk eingeschlossen und nur von Spaltflächen begrenzt sind.

An den Krystallen der Druse I wurde nur die Form der Krystalle und die Brechungsindices bestimmt; zur vollständigen Untersuchung waren Krystalle der zweiten Druse mehr geeignet.

Folgende Flächen sind gut ausgebildet: (110), (010), (011), ($\bar{1}$21).

Die (010)-Fläche ist wahrscheinlich eine Spaltfläche.

Brechungsindices:

λ	α	β	γ	
589	1·618(6)	1·632(1)	1·637(6)	0·0190

Von den Krystallen der Druse II wurden möglichst reine Krystalle ausgesucht, zerkleinert und unter dem Mikroskop ganz einschlußfreie Teilchen ausgesucht, die zu einer Analyse verwendet wurden.

Die Analyse ergab:

SiO_2	56·01	0·935	
TiO_2	—		
Al_2O_3	0·14	0·001	0·014
Fe_2O_3	2·14	0·013	
FeO	—		
MnO	5·81	0·082	0·934
CaO	8·29	0·148	
MgO	20·99	0·526	
K_2O	0·47	0·005	
Na_2O	3·69	0·059	
F_2	0·18	0·005	
H_2O	1·94	0·108	
Li_2O	—		
	99·66		
$O = Fl_2$	0·07		
	99·59		

Es ist sehr auffallend, daß der ganze Eisengehalt als Oxyd vorhanden sein soll. Um einen Fehler auszuschließen, wurde die Bestimmung von FeO dreimal wiederholt, einmal nach der Methode des Aufschließens im zugeschmolzenen böhm. Kaliglasrohr und zweimal nach der Pebal-Doelter'schen Methode. Jedesmal war kein FeO zu konstatieren. Es lag der Gedanke nahe, ob hier nicht etwa das Mangan eine Wirkung ausübt, indem es z. B. in einer höheren Oxydationsstufe im Mineral vorhanden wäre und die Oxydation des Eisenoxyduls beim Zersetzen des Silikates bewirken würde.

Das spezifische Gewicht ist genau dasselbe wie das des Aktinoliths vom Zillertal = 3·044.

Die optische Untersuchung ergab:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	cA	cB	$2V_\alpha$
589	1·6151	1·6294	1·6367	0·0216	16° 55'	72° 38'	38° 48'	68° 34

Aus den Brechungsindices ist $2V_\alpha = 70° 33'$.

Dispersion von β ist ($\beta_{Na} = 1 \cdot 6297$):

λ	$\beta_D - \beta_\lambda$
668	+0·0030
648	+0·0023
617	+0·0010
589	—
538	—0·0036
507	—0·0054
488	—0·0076

Dispersion von $\gamma - \alpha$:

λ	γ—α
668	0·02128
589	0·02123
434	0·02132

Die Dispersion ist also äußerst gering.

Pleochroismus:

$\gamma = \beta$ orange 4·5 Plattendicke = 0·085 *mm*
α farblos

Auffallend ist der kleine Achsenwinkel im Vergleich zum Aktinolith, wobei beide Achsen ihre Lage ändern, die Auslöschungsschiefe aber nicht stark verändert wird.

Durch Rösten am Platindeckel wird der Richterit sehr dunkel, was auch dem Verhalten vor dem Lötrohr entspricht.

Hornblende von Snarum.

Dunkle schwarze Krystalle (M. J. 8073).

Nach dem optischen Verhalten steht diese Hornblende dem Aktinolith ziemlich nahe.

Ich fand:

λ	α	β	γ	γ—α	$c:\gamma$	$2V_\alpha$
589	1·6255	1·6385	1·6501	0·0246	18° 0′	83° 18′

Dispersion der Doppelbrechung:

λ	$\gamma-\alpha$
668	0·0254
589	0·0252
461	0·0257
431	0·0259

Pleochroismus $\gamma > \alpha$ γ blaugrün 17. t. I. Übergang nach blau
α farblos Plattendicke 0·017 *mm*.

Eine Platte ‖ (010) zeigt außer den gewöhnlichen prismatischen Spaltrissen noch sehr regelmäßige, mit vorigen einen Winkel von 76° bildende, äußerst feine, erst bei stärkerer Vergrößerung sichtbare Streifen. Vgl. hierüber Williams, Am. Journ. of Sc., 1890, XXXIV, Nr. 233, p. 355. Diese Streifen neigen nach vorn (Tschermak'sche Aufstellung), entsprechen folglich (001).

Die Hornblende läßt Spuren mechanischer Wirkung erkennen (teilweise Verschiebung und infolgedessen Wandern der Auslöschungsschiefe.

Sp. G. 3·063.

Ein schwarzer Krystall von Snarum wurde von Haefke[1] chemisch untersucht: D 3·091, SiO_2 53·42, TiO_2 0·23, Al_2O_3 3·12, Fe_2O_3 2·52, FeO 7·36, MgO 18·22, CaO 10·28, K_2O 0·14, Na_2O 3·17, H_2O 1·11, F 1·52.

Bemerkungen zu dieser Gruppe.

Wie wir aus den hier untersuchten Gliedern der Reihe Tremolit—Aktinolith ersehen, ist vor allem eine vom Eisengehalt abhängige Änderung der Brechungsindices zu beobachten. Alle drei Brechungsindices werden mit Zunahme des Eisenoxydulsilikats größer; bei den dunkel gefärbten nimmt γ weniger schnell wie α zu, was eine Verminderung der Doppelbrechung bewirkt.

Was die Dispersion der Brechungsindices anbelangt, so nimmt sie zum violetten Ende des sichtbaren Spektrums rasch

---

[1] Hintze.

zu, was besonders durch Vergleich der Zahlen, die für β erhalten wurden, hervorgeht. Diese Zunahme ist bei stärker gefärbten für β größer als bei den eisenärmeren (Aktinolith I), was aber erst im blauen Teile des Spektrums deutlich hervortritt.

Die Dispersion der Doppelbrechung ist $v > \rho$, ziemlich klein.

Der Achsenwinkel bleibt groß und ändert sich ziemlich wenig vom Tremolit bis zum Zillertaler Aktinolith, in welchem er etwas kleiner ist.

Die Achse A ist in der ganzen Gruppe wenig dispergiert die Achse B ziemlich stark. Der Sinn der Dispersion ist

beim Tremolit:	Achse A	$v \geqq \rho$ um α,	Achse B	$\rho > v$
» Aktinolith:	» A	$\rho > v$ » α,	» B	$\rho > v$

Dazwischen gibt es Übergänge.

Die Dispersion ist folglich $\rho > v$ um α, umgekehrt wie gewöhnlich angegeben.

Die Angabe der Dispersion $v > \rho$ um α rührt von Des Cloiseaux her, welcher den Achsenwinkel für Tremolit und Aktinolith für rotes und gelbes Licht in Öl gemessen hat.

Die Auslöschungsschiefe ändert sich wenig, wird beim Aktinolith etwas größer.

Tremolit	$c:\gamma = 15 \cdot 5°$
Aktinolith Zillertal	16·5
»	17
Aktinolith[1] Arendal	18

Dispersion immer $\gamma : c_\rho > \gamma : c_v$.

Das spezifische Gewicht steigt mit dem Eisengehalte:

Tremolit	Schweiz	2·980	
»	Albrechtsberg.......	2·986	
Aktinolith	Pierrepont..........	3·027	
»	Zillertal I..........	3·046	Richterit
	» II..........	3·061	
Hornblende	Snarum.............	3·063	

[1] An 010 gemessen. Pleochroismus stark, Farben viel dunkler wie vom Zillertal.

Der Habitus der Krystalle in der Regel langgestreckte Säulen.

Der Spaltwinkel im eisenreicheren Gliede kleiner als im Tremolit:

$m:m = 55° 46'$ Tremolit
55 30 Aktinolith

Das Mangan scheint, wie in der Pyroxengruppe, ein dem Eisen ähnliches Verhalten zu zeigen.

Tremolit-Pargasitreihe.

Tremolit von Gouverneur N. Y. (Min. Pet. J. 5642).

Eine große Druse mit schönen, weißlichen Krystallen, von welchen manche bis 4 *cm* Länge erreichen und weiter abgebrochen sind; dazwischen kleinere Kryställchen, alles wirr durcheinander. Stellenweise sind die Krystalle ganz klar. Sp. G. 2·997 bis 3·006.

Es liegen mehrere Analysen von diesen Tremoliten vor; die letzte, welche nach der Beschreibung des Materials sich auf genau dieselbe Art von Krystallen beziehen läßt und also wenigstens annähernd ein Bild über die chemische Zusammensetzung auch unserer Krystalle gibt, ist von Stanley:

SiO_2 57·45, Al_2O_3 1·30, Fe_2O_3 0·18, FeO 0·22, MnO 0·07, MgO 24·85, CaO 12·89, K_2O 0·54, Na_2O 0·67, H_2O 1·16, F_2 0·77, sp. G. 2·997.

Der Unterschied gegenüber dem Tremolit aus der Schweiz würde also im größeren Fluorgehalte, welcher dort sehr gering ist, und in dem nicht unbeträchtlichen Alkaliengehalte, dagegen etwas kleinerem Wassergehalte liegen.

Die optische Orientierung ergab:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	cA	cB	$2V_\alpha$
671	1·5973	1·6009	1·6212	0·0241	16°41'	65°53'	32°32'	81°35'
589	1·5996	1·6131	1·6244	0·0248	16 39	65 52	32 35	81 33
535	1·6025	1·6160	1·6278	0·0253	16 33	65 51	32 43	81 27

Dispersion der Doppelbrechung (Kompensator):

λ	$\gamma-\alpha$
660	0·0252
589	0·0255
538	0·0260
431	0·0266

Tremolit von Pierrepont (Min. Pet. J. 1174).

Dieser Tremolit ist schon deutlich von den vorherigen verschieden. Die Farbe st haarbraun ins Grünliche; die kurzen, mit (011) abgeschlossenen, bis 1 *cm* großen Krystalle sitzen in einem dichten Gemenge von kleinen Körnern derselben Hornblende mit Calcitkörnern. Sp. G. 2·997.

Die Tremolite von Pierrepont zeigen ziemlich bedeutende Mengen von Aluminium (ungefähr 1·8 bis 3%), Alkalien und sind fluorhältig (0·90 bis 1·31%).

Krystalle der untersuchten Stufe zeigen:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$
589	1·6042	1·6185	1·6299	0·0257	17°

Achsenwinkel (aus den Brechungsindices) $2V_{\alpha} = 82° 45'$.

Tremolit von Edenville (Hofmuseum A. f. 40)

von haargrauer Farbe sei hier auch angeführt. Die Krystalle sind mit Calcitkörnern durchspickt. Ich fand:

λ	α	β	γ
589	1·603(3)	1·616(1)	1·628(1)

woraus

$2V_{\alpha} = 87° 51'$ Sp. G. 3·016 bis 3·023.

Hornblende von Russel St. Lawrence Ct. N. Y. (M. J. 9326).

Schöne Druse mit gut ausgebildeten hellgrünen Krystallen, welche im krystallinen Kalk sitzen und aus diesem offenbar zum Teil herausgeätzt waren. Spaltwinkel 55° 53'.

Die Krystalle sind nicht langsäulenförmig, sondern nach allen Richtungen ungefähr gleichmäßig entwickelt. Die Form vergl. Williams (l. c.).

Die chemische Analyse des ausgesuchten reinen Materials ergab:

	I	II	Mittel		
SiO_2	54·70	54·80	54·75	0·914	0·914 (SiO₂ + TiO₂)
TiO_2	—	—	—	—	
Al_2O_3	2·23		2·23	0·021	0·026 (Al₂O₃ + Fe₂O₃)
Fe_2O_3	0·90	2·36 (Fe₂O₃ + FeO)	0·85	0·005	
FeO	1·49		1·49	0·020	0·980 (FeO bis Fl)
MnO	0·15		0·15	0·002	
MgO	22·29	22·79	22·54	0·565	
CaO	11·55	11·18	11·36	0·203	
K_2O	1·30	0·90	1·10	0·010	
Na_2O	2·52	2·29	2·40	0·038	
H_2O	2·05	2·28	2·16	0·120	
Fl	0·85		0·85	0·022	
	100·03		99·38		
$O = F_2$	0·38		0·38		
	99·65		99·50		

Die Analysen I und II beziehen sich je auf eine andere Probe. Eine andere ergab noch CaO 10·92%, MgO 23·18%, H_2O 1·92%.

Diese Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung sprechen sich auch im spezifischen Gewicht aus, welches für verschiedene Krystalle zwischen 3·027 bis 3·043 liegt. Viele Krystalle schweben bei 3·033.

Diese Analyse läßt keine solchen Verhältnisse erkennen wie die Tremolit-Aktinolithsilikate.

Die Summe der Molekularverhältnisse der Monoxyde (+Wasser etc.) ist größer wie die Zahl für die Kieselsäure, so wie dies bei gemeinen Hornblenden der Fall ist (Pargasit). Das

Verhältnis der Tonerde und der Alkalien entspricht nicht dem durch das Silikat $Na_2Al_2Si_4O_{12}$ geforderten.

Dieses außergewöhnliche chemische Verhalten findet in den optischen Eigenschaften seinen Ausdruck. Es wurde gefunden:

λ	α	β	γ	γ—α	$c:\gamma$	cA	cB	$2V_\alpha$
671		1·6110			19°37'	66°27'	27°12'	86°19'
589	1·6017	1·6134	1·6244	0·0227	19 31	66 24	27 22	86 14
535		1·6172			19 27	66 23	27 29	86 08
475					19 20	66 20	27 40	86 00

Dispersion von β:

λ	$\beta_D - \beta_\lambda$
	0·0039
	0·0030
645	0·0022
623	0·0018
617	+0·0010
589	—
535	—0·0032
507	0·0049
488	0·0068
480	0·0079
471	0·0085
464	0·0091
458	0·0098
452	0·0105
444	0·0117
434	0·0127
ca. 428	0·0129

Dispersion der Doppelbrechung (Kompensator):

λ	γ—α
668	0·02263
589	0·02273
464	0·02325
444	0·02344

$2V_{\alpha\,Na}$ (ber.) = 86° 32′

Pargasit von Pargas.

Die hellgrüne, durchsichtige, auch tiefgefärbte Hornblende von Pargas ist schon vielfach untersucht worden.

Die Verschiedenheit in der Färbung vieler Exemplare weist auf Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung hin, was auch die Analysen bestätigen.

Die Krystalle dieser Hornblende sind, entgegen dem gewöhnlichen Habitus der Strahlsteine, kurz nach der *c*-Achse und durch Vorherrschen von (011) oft plattig ausgebildet. Die Krystallkanten sind oft abgerundet, der Krystall wie korrodiert, voll von Löchern und Hohlräumen, was in im Kalk eingebetteten Krystallen sonderbar erscheint.

Diese Löcher und Einsenkungen der Flächen rühren von Kalkeinschlüssen her, mit dessen Körnern die Hornblende durchspickt ist und welche herausgefallen sind. Auch im Innern der Krystalle liegen solche Kalkspatkörner.

Mit dem reichlich im Kalk zerstreuten, auch in der Hornblende Einschlüsse bildenden Phlogopit (vgl. die Analyse von Ludwig) haben sie den Fluorgehalt gemeinsam.

Von optischen Eigenschaften fand Des Cloiseaux:

$$\left.\begin{aligned} 2E = 97 \text{ rot} \\ 98 \text{ blau} \end{aligned}\right\} \text{um } \gamma;$$

er bestimmte auch die Änderung des scheinbaren Achsenwinkels in der Luft für eine Reihe von Temperaturen. Es sei hier nur angeführt:

$$\begin{array}{ll} T\ \ 17° & 2E = \ \ 98°\ \ 3' \\ \ \ \ 146° & \ \ \ \ \ \ \ \ \ 100°\ 44', \end{array}$$

wobei die erste Mittellinie kaum ihre Lage ändert.

Tschermak erhielt:

$$c:\gamma = 18°, \quad \beta_{rot} = 1\cdot64, \quad 2E_{rot} = 107°\ 30', \quad 2V = 59°.$$

M. Lévy und Lacroix fanden:

$$\gamma = 1\cdot632, \quad \beta = 1\cdot620, \quad \alpha = 1\cdot613, \quad 2V = 58 \text{ bis } 60° (+),$$
$$c:\gamma = 18 \text{ bis } 21°.$$

Zimányi (l. c., Z. f. K., 1894):

$$\alpha = 1{\cdot}616, \quad \beta = 1{\cdot}620, \quad \gamma = 1{\cdot}635.$$

Die Angaben über die optischen Eigenschaften dieser hellgrünen Krystalle weichen also nur unwesentlich voneinander ab und erweisen, daß hier ein optisch positives Mineral mit kleinem Achsenwinkel und größerer Auslöschungsschiefe (Wiik gibt 27° an) vorliegt.

Leider sind diese Untersuchungen nicht am analysierten Material ausgeführt und eine sichere Entscheidung, welche von den Analysen die Zusammensetzung der optisch untersuchten Krystalle wiedergibt, ist bei der Verschiedenheit der Analysen untunlich.

Es war deshalb notwendig, eine optische Untersuchung und eine chemische Analyse durchzuführen. Es wurden hierzu lauchgrüne Krystalle gewählt und die stellenweise vorkommenden dunkleren Partien nach Möglichkeit beseitigt.

SiO_2	48·38	0·807		
TiO_2	0·05	0·000		
Al_2O_3	10·83	0·106	0·111 (Al₂O₃ + Fe₂O₃)	
Fe_2O_3	0·76	0·005		
FeO	1·56	0·022	0·816 (FeO bis Na₂O)	
MnO	0·04	0·000		
MgO	20·78	0·520		0·914 (MgO bis F₂)
CaO	12·24	0·217		
K_2O	1·38	0·014		
Na_2O	2·69	0·043		
H_2O	0·91	0·050		
F_2	1·82	0·048		
	101·44			
$O = F_2$	0·76			
	100·68			

Das spezifische Gewicht ergab sich zu 3·095.

Die Kieselsäure mußte hier in einer neuen Portion bestimmt werden. Auch hier ist die Behandlung des Materials mit verdünntem HCl, um es vom Kalkspat zu reinigen, notwendig.

Zur Bestimmung des Achsenwinkels wurde eine Platte ungefähr senkrecht zu γ hergestellt ($\rho = 27° 10'$, $\varphi = 1° 44'$).

Der Achsenwinkel im Monobromnaphthalin $2H_\alpha = 59° 00'$ (Na), woraus $2V = 59° 30' \pm 10'$ (unter Berücksichtigung der Temperatur).

Die Platte wurde nachher, ohne ihre Stellung zum Instrument zu ändern, in Benzol eingetaucht, getrocknet und nun die Lage der Plattennormale, nachher zur Kontrolle die Lage der Achsen abermals bestimmt. Daraus ergibt sich:

λ	cA	cB	$c:\gamma$
589	+56° 58′	−2° 32′	27° 13′

Die Bestimmung des Achsenwinkels in der Luft konnte wegen der stellenweise schlechten Politur der Platte nicht vorgenommen werden.

Ferner wurden an anderen Krystallen Flächen ungefähr senkrecht zu den Achsen angeschliffen. Die so gefundene Lage der Achse B stimmt sehr gut mit der früher abgeleiteten: $cB = -2° 26'$ gegen $2° 32'$ (nach rückwärts).

Die Position der A-Achse an einem anderen Krystall wurde etwas verschieden gefunden: $cA_{\mathrm{Na}} = 55° 47'$ (Koord. der Fläche $\rho = 55° 33'$, $\varphi = 0° 37'$).

Der Unterschied ist offenbar durch die wechselnde isomorphe Mischung dieser Hornblende zu erklären.

Aus diesen Achsenpositionen ergibt sich: $c:\gamma_{\mathrm{Na}} = 26° 41'$.

Als Mittel erhält man:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	cA	cB	$2V_\gamma$
589	1·6158	1·6205	1·6353	0·0195	26° 57′	+56° 22′	−2° 29′	58° 51′

$$\beta_D - \beta_{\mathrm{Li}} = 0{\cdot}0035.$$

An einer Platte || (010) wurde der Winkel $c:\gamma$ direkt zu 26·7° bestimmt (Mittel, Na).

Die Dispersion der Achsen sehr gering, beträgt kaum einige Minuten.

	cA	*cB*	$c:\gamma$	$2V$
Rot	56° 25′	2° 26′	27° 00′	58° 51′
Na	56° 22	2 29	26 57	58 51
Grün	56 21	2 31	26 55	58 52

Aus

$$\alpha = 1 \cdot 6160$$
$$\beta = 1 \cdot 6205$$
$$\gamma = 1 \cdot 6353$$

berechnet sich $2V_D = 58° 14'$.

Dispersion der Doppelbrechung ebenfalls ganz gering:

λ	$\gamma - \alpha$
668	0·0197
589	0·0196
535	0·0197
434	0·0198

Hornblende von Grenville.

Das äußerste untersuchte Glied dieser Reihe in optischer Hinsicht ist die Hornblende von Grenville in Canada.

Diese Hornblende wurde zuerst von Prof. Harrington[1] chemisch sehr genau untersucht, welcher sehr schönes Material dem Prof. Becke freundlichst zur Verfügung stellte.

Die Analyse dieses Minerals wurde nachher von Johnston und letztens durch Stanley ausgeführt und alle drei Analysen zeigen bis auf die Titansäure gute Übereinstimmung.

Die Analysenzahlen mögen hier wiedergegeben werden.

---

[1] Durch freundliches Entgegenkommen von Prof. Frank Adams in Montreal und des Herrn A. A. Johnston erhielt ich behufs Fortführung der Untersuchung dieser Hornblende neues, sehr schönes Material. Beiden Herren sei aufs beste gedankt.

	Harrington	Johnston	Stanley	Mol.-Ver. (aus dem Mittel der Analysen I und III	
SiO_2	45·50	46·09	45·79	·762	·773
TiO_2	·68	nicht best.	1·20	·011	
Al_2O_3	12·25	12·93	11·37	·115	·117
Fe_2O_3	·28	·79	·42	·002	
FeO	·75	—	·42	·008	·932
MnO	·11	·36	·39	·003	
MgO	20·63	20·82	21·11	·520	
CaO	13·31	12·91	12·71	·239	
K_2O	1·76	1·84	1·69	·018	
Na_2O	2·76	2·36	2·51	·042	
H_2O	·40	·66	·67	·030	
F_2	2·80	2·84	2·76	·072	
	101·23	101·60	101·06		
$O = F_2$	1·17	1·19	1·16		
	100·06	100·41	99·90		

Harrington bestimmte noch: Sp. G. 3·110 bei +15° und Auslöschungsschiefe auf (110) 16°. Ich fand Sp. G. 3·095 und die Auslöschungsschiefe auf Spaltblättchen genau 16°, so daß die Angaben von Harrington bestätigt werden konnten.

Die Durchsichtigkeit und Reinheit des Materials forderte zur detaillierten optischen Untersuchung auf.

Die Farbe dieser Hornblende ist braunrot mit sehr starkem Pleochroismus $\gamma = \beta > \alpha$.

γ entspricht bei einer Plattendicke von zirka 2·5 *mm* dem Zinnobergrau *q* der Radde'schen Farbenskala, α Zinnobergrau *v*.

Die Durchlässigkeit für den Strahl γ ist an einer 1·5 *mm* dicken Platte für rote Strahlen ($\lambda = 0·67\ \mu$) beinahe gar nicht beeinflußt.

Nachdem das mir zur Untersuchung vorliegende Stück nur ein großes Spaltstück war und keine krystallographische Be-

grenzung zeigte, so wurde mit Hilfe der Ätzfiguren die richtige Aufstellung gefunden, wie dies von Freudenberg[1] und früher am Pyroxen von Wülfing[2] angewendet wurde.

Die Brechungsindices wurden mit dem Totalreflektometer bestimmt. An einer Platte wurden sie etwa um vier Stellen der vierten Dezimale größer als an einer anderen gefunden, doch ergab die Bestimmung von β an zwei Prismen $(110:\bar{1}10)$ beinahe das gleiche Resultat, die Hornblende ist also ziemlich homogen. Kleinere Schwankungen zeigen sich auch im Achsenwinkel. So ergibt sich aus einer Platte senkrecht zu γ $2V_\gamma =$ $= 52° 09'$ (Na), an einer anderen $2V_\gamma = 51° 45'$ (Na).

Diese kleinen Unterschiede liegen aber schon außerhalb der Fehlergrenze. Bei so komplizierten Verbindungen können aber solche Schwankungen als gering gelten. Es wurde ferner an einem Zwilling nach (100) eine gegen die Spaltflächen beinahe senkrechte Fläche angeschliffen, so daß man den Winkel der beiden B-Achsen messen konnte. Wahrer Winkel $B:B' =$ $= 3° 02'$, woraus cB $1° 31'$.

Es wurde auch die Methode benützt, welche Prof. Becke zur Bestimmung der Position der B-Achse beim Anorthit entwickelt und angewendet hat.

Die Position der angeschliffenen Fläche, deren Normale hier nicht weit von der A-Achse abwich, wurde gegen die Spaltflächen bestimmt und die Platte mit Canadabalsam so befestigt, daß ihre Normale mit dem Reflex des Objektglases möglichst zusammenfällt.

Kleine Abweichungen werden noch mit Hilfe des zweikreisigen Goniometers abgelesen und später eine Korrektur angebracht.

Hier konnte man sie vernachlässigen.

Nun wird die Lage der Achse in bezug auf die Plattennormale und die sichtbaren Spaltrisse fixiert mit Hilfe des Okularschraubenmikrometers, indem einmal die Kante der

---

[1] Freudenberg, Geologie und Petrographie des Katzenbuckels im Odenwald. Mitt. der Großherz. Badischen Geolog. Landesanstalt, V. Bd., I, 1906, p. 340.

[2] Wülfing, Beitr. zur Kenntnis der Pyroxenfamilie, 1891 (Habilitationsschrift).

angeschliffenen Fläche zu einer Spaltfläche, dann der Achsenbalken dem beweglichen Faden parallel eingestellt wird und die Stellungen des Mikroskoptisches abgelesen werden (Z_1, A_1). Die Stellung der Mikrometerschraube, bei welcher der Faden mit dem Achsenbalken zusammenfällt, ist D_1. Alle Ablesungen werden auch nach der Drehung um 180° gemacht (Z_2, A_2, D_2) und als Mittel von Z_1 und Z_2, A_1 und A_2 ergibt sich Z, A und $D_2—D_1$.

Auf die Weise hat man die Lage der Achse zu der Plattennormale und dem beweglichen Faden des Okulars in Beziehung gebracht.

Verlief der Faden jetzt parallel dem Nicolhauptschnitt (von vorn nach rückwärts), so braucht man dasselbe noch bei der 45°-Stellung des Okularmikrometers vorzunehmen, um den Achsenpunkt in einer Projektion zu fixieren.

Es werden die Verhältnisse so, wie man sie unter dem Mikroskop sieht, graphisch dargestellt. Die Stelle, wo der Achsenbalken die Achsenebene schneidet, ist der Austrittsort der Achse.

Es ergab sich nach dieser Methode $cA = 53°$ (Na).

Die Dispersion des Winkels der optischen Achsen ist hier stärker als beim Pargasit von Pargas.

Für die Platte I ergab sich:

λ	cA	cB	$2V_\gamma$	$c:\gamma$
0·671	53° 41′	1° 25′	52° 16′	27° 36′
0·589	53 35	1 25	52 09	27 30
0·535	53 27	1 25	52 02	27 22
0·495	53 20	1 25	51 55·5	27 15

An der II. Platte:

λ	cA	cB	$2V_\gamma$	$c:\gamma$
0·668	53° 39′	1° 45·5′	51° 54′	27° 42′
0·589	53 32	1 48	51 44	27 40
0·509	53 20	1 50	51 30	27 35
0·464	53 11	1 53	51 18	27 32

Die Dispersion der Doppelbrechung ist äußerst gering. Im weißen Lichte sieht man, daß die Verschiebung des Kompensationsstreifens für rotes Licht größer ist wie für blaues; doch durch genaue Messung überzeugt man sich, daß die Erscheinung durch Dispersion des Quarzkeiles hervorgebracht wird. Es wurde gemessen mit dem Kompensator:

λ	$\gamma-\alpha$
0·668	0·01907
0·589	0·01905
0·538	0·0191
0·464	0·0193
0·434	0·0194

Der Brechungsindex β ergibt sich nach der Prismenmethode $(110:\bar{1}10)$ zu $n_D = 1\cdot6178$.

Die Dispersion ist:

λ	$\beta_D-\beta_\lambda$
0·671	+0·0033
0·648	+0·0026
0·630	+0·0022
0·612	+0·0015
0·589	—
0·538	—0·0033
0·525	—0·0040
0·515	—0·0047
0·490	—0·0063
0·471	—0·0081
0·464	—0·0090
0·452	—0·0103
0·444	—0·0115
0·432	—0·0129
ca. 0·425	—0·0135

Auslöschungsschiefe auf (010) gem. 27·5° (Na).
» (110) » 16° berechnet 15° 53′.

Wir haben folglich im Durchschnitt:

λ	α	β	γ	$2V_\gamma$	$c:\mathfrak{c}$	cA	cB
0·671	1·6113	1·6149	1·6302	52°04'	27°38'	53°40'	1°36'
0·589	1·6142	1·6180	1·6332	51 55	27 34	53 33	1 37
0·535	1·6175	1·6211	1·6365	51 48	27 31	53 25	1 37
0·464		1·6270		51 32	27 25	53 11	1 39

Aus Präparat I ergab sich bei der Temperatur +160°:

λ	cA	cB	$c:\gamma$	$2V_\gamma$
589	53° 45′	0° 39′	27° 12′	53° 7′

Bemerkungen zu der Gruppe Tremolit—Pargasit.

Wie aus den optischen Eigenschaften der hier besprochenen Amphibole zu ersehen ist, haben wir hier eine Übergangsreihe von reinem Tremolit, dem am nächsten der Schweizer Tremolit steht, zu der tonerdereichen, eisenfreien Hornblende, welche in der Hornblende von Grenville ihr letztes, bisher genauer untersuchtes Endglied hat. Es zeigt sich hier eine Zusammenscharung einzelner Glieder in der Nähe des Tremolits. Glieder, die mehr wie 3% Al_2O_3 haben, scheinen äußerst selten zu sein. Erst »Pargasite« mit über 10% Al_2O_3 sind häufiger.

Daß bei den tonerdehaltigen Tremoliten die Pargasitsubstanz beigemischt ist, folgt aus den optischen Eigenschaften dieser Glieder; von chemischer Seite liegt kein Grund vor, die Tonerde nur mit den Alkalien zu verbinden, und die oft gefundenen, nicht ganz unbeträchtlichen Mengen von Fluor, welche im Pargasit den größten Prozentgehalt erreichen, sprechen für diese Auffassung.

Beim Versuche präziserer Angaben über den Einfluß einzelner Bestandteile der chemischen Zusammensetzung auf die optischen Eigenschaften in dieser Gruppe trifft man dieselben Schwierigkeiten, die sich in der ganzen Amphibolfamilie geltend machen: die Beimischung verschiedener Silikate

und vor allem das, daß sich die Analysen nicht gut rechnen lassen.

Beachtet man die Lage der optischen Achsen sowie der Auslöschungsschiefe, so sieht man, daß hier besonders die aluminiumhaltigen Verbindungen starken Einfluß ausüben. Kleine Mengen von Eisenoxydul haben, wie wir früher gesehen, keinen merklichen Einfluß auf die Achsenlage. Außerdem, und dies erleichtert sehr die Orientierung, sind solche Bestandteile, über deren Deutung wir noch keine genügende Vorstellung haben, wie Wasser (+Fl) etc., in diesen Verbindungen in annähernd gleicher Menge vorhanden.

Um einen Einblick in die hier herrschenden Verhältnisse zu gewinnen, können wir aus den Analysenzahlen die Aluminiumverbindung sowie das Tremolitsilikat ausrechnen und solche Glieder miteinander vergleichen, welche den »Rest«, also H_2O, Fe_2O_3, überschüssiges MgO etc., in ungefähr derselben Prozentmenge enthalten.

Die Molekulargewichte von

$$CaMg_2Al_2Si_3O_{12} \text{ und } CaMg_3Si_4O_{12}$$

sind sehr ähnlich: 417·38 gegen 415·24.

Man erhält in Gewichtsprozenten: Tremolit von der Schweiz 5·42% $CaAl_2Mg_2Si_4O_{12} = A$, 78·06% $CaMg_3Si_4O_{12} = B$, 16·25% = Rest = C; Tremolit von Gouverneur[1] 5·01% A, 83·05% B, 11·94% C; Tremolit von Russel 8·76% A, 72·25% B, 18·48% C; Hornblende von Pargas 44·24% A, 42·64% B, 13·76% C; Hornblende von Grenville 48·00% A, 40·28% B, 11·98% C. Man kann jetzt die Analysen in einem Osann'schen Dreieck[2] darstellen und die Projektion jedes der Punkte auf die Dreieckseite AB würde etwa die zu vergleichenden Mengen von $CaMg_2Al_2Si_3O_{12}$ und $CaMg_3Si_4O_{12}$ in jedem der Silikate angeben unter der Annahme, daß der Rest in allen dieselbe Wirkung ausübt.

---

[1] Unterscheidet sich vom Tremolit von der Schweiz durch größeren Alkalien- und Fluorgehalt.

[2] F. Becke, Die Eruptivgesteine des böhmischen Mittelgebietes. Tscherm. Min. u. Petr. Mitt., XXII, H. 3 und 4 (1903).

Wir haben Auslöschungswinkel von 15·5, 17, 19·5, 27, 27·5 und Achsenwinkel zwischen 81 bis 128° um α, je nach dem Gehalt der Pargasitsubstanz.

Die Doppelbrechung wird bedeutend kleiner mit Zunahme von Al_2O_3, die Dispersion der Doppelbrechung ist bei tonerdereichen Hornblenden gering.

Die Dispersion der Brechungsindices ist nicht bedeutend verschieden von der Dispersion im Tremolit.

Die Dispersion der Achsen ändert sich stark und der Pargasit ist leicht vom Tremolit hierin zu unterscheiden.

Pargasit: Achse A $v > \rho$ deutlich; Achse B $\rho \gtreqless v$ um die Mittellinie α.

Tremolit: Achse A $v \geqq \rho$ sehr schwach; Achse B $\rho > v$ deutlich.

Das spezifische Gewicht steigt mit dem Gehalt der Pargasitsubstanz:

Tremolit von der Schweiz	2·980
» » Pierrepont	2·997
» » Gouverneur	3·006
» » Edenville	3·019
» » Russel	3·034
Hornblende von Pargas	3·095
» » Grenville	3·095 bis 3·110

Es wurde der Versuch gemacht, die hier herrschenden Verhältnisse graphisch darzustellen, indem an der Abszissenachse die Menge von $CaMg_2Al_2Si_3O_{12}$, auf der Ordinate der Abstand der Achsen von der c-Achse aufgetragen wurde. Der Halbierungspunkt der Entfernung der beiden Achsenpunkte gibt die Auslöschungsschiefe auf (010) an.

Der Verlauf der Kurve ist aber durch die hier untersuchten Glieder noch nicht genügend charakterisiert, weil die Beobachtungen sich an das Endglied $CaMg_3Si_4O_{12}$ und in der Nähe von Pargasit häufen.

Die einzige Literaturangabe, die hier verwertbar erschien, war über den Pargasit (Edenit) von Fiskernäs, welcher von

Lorenzen analysiert wurde und 46·79% SiO_2, 15·36% Al_2O_3, 2·38% FeO, 20·17% MgO, 13·11% CaO, 2·13% Glühverlust, 0·69% Cr_2O_3 enthält (Hintze). Ussing fand $2V_\gamma = 82° \, 36'$, $c:\gamma = 16°$, $\beta = 1·638$, also eine Orientierung, die dem Tremolit nahe steht. Es ist aber doch nicht leicht möglich, daß so große Änderung in der chemischen Zusammensetzung ohne einen größeren Unterschied der optischen Eigenschaften eintritt und es muß hier der Zweifel entstehen, ob das untersuchte Material dem analysierten entsprach.

Gastaldit.

In der eben besprochenen Reihe übt die tonerdehältige Verbindung einen Einfluß, der gerade entgegengesetzt zu sein scheint dem in der Glauphanreihe, wo die aluminiumreichen Glieder eine kleine Auslöschungsschiefe und einen kleinen Achsenwinkel um α haben. Die Auslöschungsschiefe nimmt dort sogar mit Fe_2O_3 zu $\left(\text{ist vom } \frac{Fe_2O_3}{Al_2O_3} \text{ abhängig nach Murgoci}\right)$.

Die optische Orientierung von reinem Silikat: $Na_2Al_2Si_4O_{12}$ ist noch nicht bekannt, weil in diesen Tonerdealkalihornblenden immer auch eine nicht unbeträchtliche FeO-Menge vorhanden ist und der Einfluß der Vertretung von $Na_2Al_2Si_4O_{12}$ durch $Na_2Fe_2Si_4O_{12}$ sich nur unter der Annahme ergibt, daß der Einfluß der anderen Verbindungen annähernd konstant bleibt, was hier wohl berechtigt ist.[1]

Der Gastaldit bildet das tonerdereichste Endglied dieser Reihe und obwohl er von Strüver und von Cossa genauer untersucht war, schienen einige neue Bestimmungen nicht überflüssig.

Es stand mir zur Verfügung ein Handstück von Val Ivrea, Aosta (Min. Inst. 8722), an welchem größere Gastalditkrystalle von bläulich dunkler Farbe wirr durcheinander gelagert sind.

---

[1] Was sich über die Änderung der optischen Eigenschaften mit dem Fe_2O_3-Gehalt zur Zeit sagen läßt, ist in den Abhandlungen von Hlawatsch und Murgoci eingehend besprochen. — Optische Untersuchung analysierter Glaukophane wäre noch sehr erwünscht. Am Glaukophan von Syra habe ich Achsenwinkel gemessen, die dem des Gastaldits sehr nahe stehen.

Die Analyse des untersuchten Minerals konnte nicht durchgeführt werden, weil eine stellenweise sehr innige Durchwachsung des Minerals mit Verunreinigungen (Chlorit etc.) wenig Hoffnung auf Erhaltung reinen Materials zuließ. (Die Analyse von Cossa soll an ganz reinem Material ausgeführt worden sein.)

Die Untersuchung ergab:

Brechungsindices:

λ	α	β[1]	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$
589	1·630(0)	1·646(3)	1·648(8)	0·018(8)	4—8°

Der Achsenwinkel:

$$2E_{\text{rot}\,\lambda=67} = 72°\,55', \text{ woraus } 2V_{\text{r}} = 42°\,24'$$
$$\text{grün} \quad 72°\,36' \qquad \text{gr} \quad 42°\,02$$

Die Dispersion der Doppelbrechung mit dem Babinet:

λ	$\gamma-\alpha$
668	0·0183
589	0·0183
535	0·0183
488	0·0184
444	0·0184

Sp. G. 3·036 bis 3·055

also eine außerordentlich kleine. Der Saum des Kompensationsstreifens ist aber infolge von Dispersion des Quarzes gefärbt.

Der Achsenwinkel stimmt annähernd mit den Angaben, welche im Werke von Rosenbusch sich vorfinden:

$$2E_{\text{r}} = 70, \quad 2E_{\text{gr}} = 68° \text{ (Strüver).}$$

Mehr weichen die Brechungsindices ab. Nach Rosenbusch:

[1] Aus dem Ausdruck $\beta = \frac{\alpha\,\text{tg}^2 V + \gamma}{1 + \text{tg}^2 V}$, welcher sich aus dem angenäherten Ausdruck für die Tangente des halben Achsenwinkels ergibt.

$$\alpha = 1 \cdot 6396, \quad \beta = 1 \cdot 6563, \quad 2V_{Na} = 43° 58'$$
$$\beta - \alpha = 0 \cdot 0167, \quad c:\gamma = 6°.$$

M. Lévy und Lacroix:

$$\gamma - \alpha = 0 \cdot 024.$$

Gemeine Hornblenden.

Nach der Theorie von Tschermak sind die sogenannten gemeinen Hornblenden isomorphe Mischungen einer Reihe von Silikaten: $CaMg_2Al_2Si_4O_{12}$, $CaMg_3Si_4O_{12}$, wobei das Magnesiumoxyd durch Eisenoxydul, das Aluminium durch Eisenoxyd vertreten wird. Die Alkalien werden mit Tonerde, respektive Eisenoxyd zu Orthosilikaten verbunden.

Das eisenfreie Endglied ist hier der Pargasit.

In den eisenreicheren können wir eine Reihe voraussehen, in welcher das Mg der Verbindung $CaMg_2Al_2Si_3O_{12}$ durch $\overset{II}{Fe}$ teilweise ersetzt wird.

Eine andere Reihe wäre die, wo das Riebeckit-Molekül vorwiegen würde.

Daß eine Reihe von Zwischengliedern zwischen gemeiner Hornblende (und Aktinolith) und dem Gastaldit vorliegt, ist nach Rosenbusch wahrscheinlich auf Grund der Beobachtung, daß manche »gemeine« Hornblenden bläuliche Töne zeigen. Mit Zunahme der Aktinolithsubstanz würden sie durch grüne ersetzt, wobei die Auslöschung zu steigen scheint.

Murgoci zählt in die Gruppe der gemeinen Hornblenden den Pargasit, Karinthin, Soretit, Philipstadite, Hastingsit, Noralit etc. Die Analysen dieser Hornblenden zeigen in der Regel Fe_2O_3; nach Murgoci hängt die Auslöschungsschiefe von dem Molekularverhältnis $Fe_2O_3 : Al_2O_3$ ab.

In der zahlreichen Gruppe, in welcher das MgO durch FeO teilweise vertreten wird, dagegen der Tonerdegehalt (10 bis 12%), CaO und Alkaliengehalt beinahe konstant bleibt (Murgoci, p. 381), hat nach Murgoci die Vertretung des Mg durch $\overset{I}{Fe}$ keinen Einfluß auf die optischen Eigenschaften der Amphibole. Und es ist wirklich sonderbar, wie einförmig

optisch viele dunkle Hornblenden sind. Ungefähr dieselbe Auslöschungsschiefe (zirka 17°) Doppelbrechung und ein großer negativer Achsenwinkel wiederholen sich sehr oft. Die Verschiedenheit einzelner Glieder äußert sich aber sehr deutlich in den Unterschieden der Brechungsindices.

In dieser Beziehung sind die Hornblenden leider noch sehr wenig untersucht.

Es liegen folgende Angaben vor:

Gemeine Hornblende von Volpersdorf:

$\beta_\rho = 1 \cdot 642, \quad c:\gamma = 19° \, 53', \quad 2V_\gamma = 85°$

γ braun, β gelb, α gelbgrün, $\gamma > \beta > \alpha$ (Tschermak);

Hornblende von Kragerö:

$\gamma = 1 \cdot 653, \quad \beta = 1 \cdot 642, \quad \alpha = 1 \cdot 629, \quad 2V_\alpha = 84°$ (M. Lévy und Lacroix).

Es sollen ferner nach Duparc und Pearce[1] angeführt werden:

Hornblende von Katéchersky (v. Uralit) vom Gabbro:

$\alpha = 1 \cdot 6555, \quad \beta = 1 \cdot 6709, \quad \gamma = 1 \cdot 6790, \quad c:\gamma = 20°, \quad 2V_\alpha = 72°$ (Duparc und Pearce);

künstliche Hornblende:

$\beta = 1 \cdot 628, \quad \gamma - \alpha \; 0 \cdot 025, \quad 2V = 82°, \quad c:\gamma = 17°$ (Chroustschoff);

Hornblende von Aiguilles rouges:

Auslöschungsschiefe 19° (Al_2O_3 6·44, Fe_2O_3 14·93, FeO 13·31) (E. Joukowsky)

und Auslöschungsschiefe 15° 30′ (Al_2O_3 14·91, Fe_2O_3 4·01, FeO 10·07) (Horn).

[1] Sur la soretite, une amphibole nouvelle du groupe des hornblendes communes. Bull. de la Soc. Franc. de Min., T. XXVI, Paris 1903.

Der Philipstadit von Daly[1] mit SiO_2 45·20, TiO_2 0·84, Al_2O_3 7·34, Fe_2O_3 7·55, FeO 15·80, MnO 1·52, CaO 12·30, MgO 8·40, Na_2O 0·80, K_2O 0·37, Glühverlust 0·70 (nach Analyse von Pisani) hat schwache Doppelbrechung $c:\gamma =$ 17 bis 22°, $2V_\alpha = 42$ bis 60° (zonarstruiert).

Pleochroismus: γ dunkelblaugrün, β gelbgrün, α lichtbräunlichgrün (alles nach Daly).

Schließlich der am genauesten bekannte Soretit von Duparc und Pearce[2] (aus dem nördlichen Ural) mit SiO_2 40·52, TiO_2 1·71, Al_2O_3 10·99, Fe_2O_3 9·64, FeO 9·83, welcher zeigt:

	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	$2V_\alpha$
I. Varietät (grünlich)...	1·6628	1·6765	1·6856	0·0228	17°	82°30′
II. » (bräunlich)..	1·6591	1·6701	1·6806	0·0215	17°30′	90°

im Na-Licht. Sp. G. 3·223.

Die von Lacroix untersuchte Hornblende vom Vesuv wird weiter unten besprochen.

Das eisenfreie Endglied, der Pargasit, ist oben behandelt. Als nächstes Übergangsglied zu den Fe-reicheren bietet sich der Karinthin dar.

Karinthin.

Der Karinthin von der Saualpe ist seit der Arbeit von Tschermak, welcher auch dieses Mineral untersuchte, nicht mehr untersucht worden.

Die Vervollständigung der vorhandenen Angaben schien also wünschenswert.

Tschermak's Abhandlung enthält auch eine Andeutung, wie man die chemische Konstitution dieses Minerals nach einer Analyse von Rammelsberg auffassen kann. Rammelsberg fand (Hintze): SiO_2 49·33, Al_2O_3 12·72, Fe_2O_3 1·72, FeO 4·63, MgO 17·44, CaO 9·91, K_2O 0·63, Na_2O 2·25, Fl 0·21, H_2O 0·29.

1 On a new variety of Hornblende. Proceedings of Am. Acad. of Arts and Sciences, Vol. XXXIV, 16, 1899.

2 In der letzten Zeit sind einige eingehende Untersuchungen über die gemeine gesteinsbildende Hornblende publiziert worden (mit vielen Analysen und optischen Bestimmungen): Hornung: Les hornblendes communes. Thèse. Geneve; Duparc et Hornung-Arch. de Sc. phys. et nat. de Geneve 1907; Duparc et Pearce Bull. d. la Soc. Min. 1. 2. 1908. Vide p. 877.

Tschermak gibt an:

Pleochroismus $\gamma = \beta > \alpha$.
γ grünlichbraun, β gelbbraun, α gelbgrün.
c. 100 = 73°, c. 001 = 148°, $c:\gamma = 17°$.

Bei der Untersuchung der mir von Hofrat Tschermak überlassenen schwarzen Krystalle (im Eklogit, Min. Petr. J. 50) erhielt ich:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	cA	cB	$2V_\alpha$
589	1·6305	1·6430	1·6530	0·0225	17° 39′	65° 06′	29° 49′	85° 08′

Die Dispersion der Doppelbrechung mit dem Kompensator:

λ	$\gamma-\alpha$
668	0·0214
589	0·0216
464	0·0218
444	0·0219

Die Unvollständigkeit der Übereinstimmung der mit dem Kompensator gemessenen und der aus den Brechungsindices (Totalreflexion) sich ergebenden Doppelbrechung erklärt die Beschaffenheit der Platte $\|$(010), die beim Dünnschleifen ($D = 0·076$ *mm*) sich ganz mit Sprüngen bedeckte, was die Genauigkeit der Dickemessung sehr beeinträchtigt.

Die optische Achse A zeigt die Dispersion $\rho > v$ um α. Die Dispersion der Achse B ist äußerst schwach. $\rho > v$.

Die Achsenplatten zeigen sehr schöne Absorptionsbüschel, und zwar gehört der Karinthin dem ersten Typus an.

Außer diesem im durchfallenden Lichte grünlichen Karinthin kommt in den Eklogiten der Saualpe auch eine in dünnen Platten bräunliche Hornblende vor, im äußeren Aussehen der ersteren sehr ähnlich.

Hornblende von Edenville N. Y.

Von Edenville N. Y. besitzen wir außer den hellen »Edeniten« auch rabenschwarze Hornblenden. Ihre Krystalle sind

ebenso wie die in Pargas im Kalkstein eingebettet und ausgezeichnet scharf ausgebildet. Nach den Analysen ist diese Hornblende sehr eisenreich; sie enthält das Eisen als FeO, Fe_2O_3 nur untergeordnet.

Stanley und Penfield geben folgende Analyse dieser Hornblende an: SiO_2 41·99, TiO_2 1·46, Al_2O_3 11·62, Fe_2O_3 2·67, FeO 14·32, MnO 0·25, MgO 11·17, CaO 11·52, K_2O 0·98, Na_2O 2·49, H_2O 0·61, F_2 0·80, Verl. b. 110° 0·08. Sp. G. 3·285.

In der von mir untersuchten Stufe (Min. I. 6871) liegen mehrere abgespaltene Hornblendekrystalle, an einem besonders großen sind die begrenzenden Flächen (010), (011) und die kleineren ($\bar{1}$01), (110) gut erhalten. Spaltwinkel 55° 44′.

Der Krystall ist in der Richtung der Zonenachse [$\bar{1}$00], nicht der *c*-Achse, in die Länge gezogen.

Die optische Orientierung[1] ist:

λ	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	$2V_\alpha$
589	1·6545	1·6655	1·6747	0·0207	18·5°	ca. 90°

Die Doppelbrechung (Babinet):

λ	$\gamma-\alpha$
668	0·0198
589	0·0194
538	0·0193
480	0·0194
445	0·0193

Die Dispersion von $\gamma-\alpha$ ist also $(\gamma-\alpha)_\rho > (\gamma-\alpha)_v$, wobei aber die Dispersion für längere Wellenlängen größer ist wie für kurze (im sichtbaren Spektrum). Die kleine Unregelmäßigkeit bei $\lambda = 480$ kann Messungsfehlern zugeschrieben werden.

Der Pleochroismus sehr stark:

γ	35	gelbbraun	*r* (rotbraun)
β		»	rötlichbraun
α			*u* (schmutziggrünlichbraun)

Plattendicke 0·0205 *mm*.

---

[1] Der Fehler von *n* ist zirka ± 0·0005.

Die Dispersion der Achsen ist infolge der starken Eigenfärbung des Minerals schlecht zu beobachten; doch scheint sie sehr gering zu sein. Die Achse A scheint schwach $v > \rho$ um α dispergiert zu sein, an der Achse B ist es unmöglich, solche Beobachtungen genauer zu machen, weil bei etwas größerer Dicke in 45°-Stellung der Achsenpunkt nicht mehr schwarz ist. An sehr dünnen Stellen konnte aber auch keine Dispersion festgestellt werden.

Es ist von Wichtigkeit, daß, während die eine Achse (A) sich normal verhält, die Achse B sehr deutlich die p. 902 beschriebene Erscheinung zeigt.

Ich beschränkte mich hier nur auf die FeO-Bestimmung und erhielt FeO 12·81%. Nach Reduktion durch Zn ergibt sich aus der Differenz 2·64% Fe_2O_3; es wurden hier die wegen Anwesenheit von TiO_2 notwendigen Vorsichtsmaßregeln[1] nicht beobachtet und es sollte nur eine angenäherte Schätzung des Fe_2O_3-Betrages erzielt werden; der Versuch wurde nicht wiederholt. Jedenfalls beweist dies, daß diese Hornblende der von Stanley analysierten chemisch nahe steht.

Dem Aussehen nach, auch durch die Art des Vorkommens ist dieser Hornblende die schwarze Hornblende von Pargas ähnlich, welche dadurch auch interessant ist, daß zwischen ihr und dem hellgrünen Pargasit alle möglichen Übergangsglieder vorzukommen scheinen, wie man aus der Farbe sowie dem Schwanken der Analysenzahlen der Amphibole von Pargas urteilen kann.

Die Analysen dieser schwarzen Hornblenden zeigen einen größeren FeO- und Fe_2O_3-Gehalt, doch ist eine Identifikation eben auf Grund dieses isomorphen Verhaltens unmöglich. Auch fehlen hier neuere Analysen.

Es wurde also eine optische Untersuchung, ohne eine chemische Analyse auszuführen, zwecklos und es wurde nur

[1] Nach Gooch und Newton (Am. Jour. of Sc., Vol. XXIII, 1907, Nr. 137) braucht man nur, um das durch Zn reduzierte Titanoxyd wieder zu oxydieren, die Lösung mit Wismutoxyd zu versetzen und filtrieren. Das FeO wird dadurch nicht oxydiert.

die Auslöschungsschiefe auf (010) $c:\gamma_{Na} = 24\cdot5°$ und die Doppelbrechung $(\gamma-\alpha)_{Na} = 0\cdot018$ bestimmt (Plattendicke = $0\cdot083$ *mm*).

Dispersion der Doppelbrechung ist im weißen Lichte nicht zu beobachten, also wohl schwach $v > \rho$.

Pleochroismus:

γ schmutziggrünlichgrau
α graugelb.

Hornblende vom Vesuv.

Vom Vesuv kennen wir aus den Blöcken zwei verschiedene Arten von Amphibolen, nämlich die gelblichbraunen, als Sublimationsprodukt auskrystallisierenden Nadeln, und grünlichschwarze, flächenreiche Krystalle, welche mit Feldspat vermengt in den Auswürflingen in den Sammlungen sehr verbreitet sind.

Ein solches schönes Stück mit schwarzen, nicht großen, aber gut ausgebildeten Krystallen wurde mir von Prof. Berwerth zur Untersuchung anvertraut.

Krystalle von dieser Druse waren von ihm in seiner Arbeit: »Über die chemische Zusammensetzung der Amphibole« (diese Sitzungsber., I. Abt., März 1882) analysiert. In dieser Abhandlung sind als Begrenzung der Krystalle angeführt die Flächen: (110), (010), (111), (001), $(\bar{1}13)$, (100). Die Analyse ergab: SiO_2 39·80, Al_2O_3 14·28, Fe_2O_3 2·56, FeO 19·02, Ca 10·73, MgO 9·10, K_2O 2·85, Na_2O 1·79, H_2O 1·42. Sp. G. = 3·298.

Berwerth gibt an, daß im Kerne von Krystallen Einschlüsse von Glimmer stecken; ferner konstatierte er einen häufigen zonaren Aufbau der Krystalle. Diese Beobachtungen konnten nur bestätigt werden.

An vesuvianischen Hornblenden hat schon Tschermak hellere und dunklere Schichten um einen dunkleren Kern gesehen. Er fand, daß im Kern die eine Achse beinahe senkrecht zu (100) austritt, während sie für lichtere Partien mehr von dieser Richtung abweicht. Auch im Spaltungswinkel fand Tschermak an dieser Hornblende Unregelmäßigkeiten und

erklärte diese dadurch, daß verschiedene Schichten verschiedenen Spaltwinkel haben.

An den durch die Mitte der Krystalle geführten Dünnschliffen sieht man an dem von mir untersuchten Material einen sehr deutlichen Zonarbau, die lichteren und dunkleren Partien waren wechselweise angeordnet und das Gesamtbild zeigte die in den Pyroxenen so verbreitete Sanduhrstruktur. Der mit Glimmerblättchen durchspickte Kern ist heller gefärbt, gegen den Rand wird die Wechsellagerung mit dunkleren Partien äußerst fein. Siehe Fig. 4. Die Anwachspyramiden entsprechen den Flächen (011) und den Flächen aus der Prismenzone.

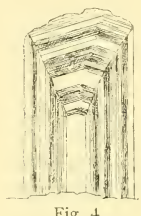


Fig. 4.

In dunkleren Partien liegt die Achse A näher an der Normalen von 100, wie dies schon Tschermak beobachtete.

Ähnliche Erscheinungen beobachtete Daly (l. c.) in seinem Philipstadit (l. c.).

Diese Erscheinung der isomorphen Schichtung, so interessant sie auch ist, ist in der Hinsicht ungünstig, daß alle Bestrebungen, eine genauere Kenntnis dieser Hornblende zu gewinnen, scheitern müssen. Trotzdem und auch trotz der Unmöglichkeit, sich ein Bild zu bilden, inwiefern die Analyse durch die Glimmereinschlüsse beeinträchtigt ist, gibt uns die Analyse von Berwerth Aufschluß darüber, daß die untersuchte Hornblende außerordentlich eisenreich ist, sehr viel FeO enthält und daß der Alkaliengehalt nicht größer ist wie der gewöhnlich in diesen Hornblenden vorkommende.

Dieser große Eisengehalt erklärt auch die sehr starke Absorption des Minerals, die hier sogar so groß wird, daß die folgenden Angaben nur als Annäherungswerte zu betrachten sind.

Die Mittellinie γ ist nach vorn gerichtet, liegt also im stumpfen Winkel β. Dies wurde an Präparaten von Krystallen mit deutlichen Flächen bestimmt (011 und 10$\bar{1}$). Auf diese Bestimmung wird hier besonders Wert gelegt, weil dem Anscheine nach hier die Dispersion der Bisectricen $c:\gamma_\rho < c:\gamma_v$ ist, umgekehrt wie bei den vorher besprochenen.

Trotzdem dies direkte Messung an 010 ergab sowie durch die Farbenerscheinungen im weißen Licht bestätigt zu werden scheint, ist es schwer, bei der Beschaffenheit dieser Hornblende bei so kleiner Dispersion sich ein sicheres Urteil zu bilden. Beobachtet man eine parallel der Achsenebene geschnittene Platte im homogenen Lichte, so bemerkt man, daß, während im blauen und grünen Lichte das Verhalten ein normales ist, für Na-Licht sowie für die langwelligen Strahlen keine vollkommene Auslöschung stattfindet und es kann hier nur auf das Intensitätsminimum eingestellt werden.

	λ	$\gamma-\alpha$	
$c:\gamma_{Na} = 26° 20'$	670	0·0179	$2V_\alpha = 68°$ (Na)
	589	0·0171	
	535	0·0168	
	434	0·0169	

Die Dispersion der Achsen ist:

A $\rho > v$ um α stark

B $\rho > v$ » α scheinbar noch stärker,

woraus sich auch eine Dispersion der Auslöschungsschiefe $v > \rho$ ergeben würde.

Die Achse A, welche nicht weit von der Normale zu (100) austritt, verhält sich normal, die Achse B ist in 45°-Stellung beinahe gar nicht zu sehen. Nur an einer sehr dünnen Stelle am Rande des Präparates gelang es, ein schärferes Bild zu beobachten.

Pleochroismus sehr stark:

γ grasgrün *h* 25, II. Übergang nach blaugrün;

α gelbgrüngrau *r* 36 (mehr gelb). Plattendicke 0·025 *mm*.

$\gamma > \beta$.

Im vorigen Jahre beschrieb Lacroix[1] eine schwarze Hornblende vom Vesuv, welche sich in den während der letzten Eruption ausgeworfenen Blöcken findet.

Auslöschung auf (010) bis 30°. $\gamma-\alpha = 0\cdot014$.

Pleochroismus: γ grünlichgelb, β gelblichbraun, α hellgelb mit $\gamma \geqq \beta > \alpha$.

Analyse von Pisani ergab: SiO_2 41·50, TiO_2 2·42, Al_2O_3 6·60, Fe_2O_3 12·32, FeO 5·30, MgO 15·89, CaO 11·70, Na_2O 2·33, K_2O 1·85, H_2O 0·37, F_2 0·45.

Dieselbe Hornblende wurde auch von Zambonini[2] untersucht, welcher ebenfalls so große Auslöschungsschiefe auf (010) fand. Zambonini stellte auch das Achsenverhältnis dieser Hornblende auf.

Die Bildungsverhältnisse dieser Hornblende waren offenbar dieselben wie bei älteren Eruptionen.

Bemerkungen zu dieser Gruppe.

Stellen wir diese Hornblenden zusammen (siehe Tabelle p. 955), so sehen wir, daß mit Zunahme des Eisengehaltes immer eine Steigerung der Brechungsindices zu beobachten ist, gleichgültig, ob das Eisen als Oxyd oder Oxydul vorhanden; ferner nimmt der negative Achsenwinkel im allgemeinen ab, wie dies von Tschermak betont wurde. Die Doppelbrechung ist durchwegs klein.

Eine vollständige Regelmäßigkeit der Änderung der optischen Eigenschaften mit dem Eisengehalt ist nicht ersichtlich, weil hier verschiedene Verbindungen zusammengestellt sind. So vor allem wiegt einmal das FeO, einmal das Fe_2O_3 vor.

---

[1] Étude minéralogique des produits silicatés de l'eruption du Vesuve (Avril 1906) par Lacroix. Nouvelles Archives du Muséum, Paris 1907.

[2] Mineralog. Notizen über den Vesuvausbruch 1906. Ref. Z. f. K., 1908, H. 6.

	FeO	Fe_2O_3	α_{Na}	β_{Na}	γ_{Na}	$\gamma-\alpha_{Na}$	$c:\gamma_{Na}$	$2V_{\alpha\,Na}$	Sp. G.
Pargasit von Grenville	0·58	0·35	1·6142	1·6180	1·6332	0·0190	27·5°	127°51'	3·095
Pargasit von Pargas	1·56	0·76	1·6154	1·6205	1·6353	0·0195	27	120 30	3·095
Karinthin	4·63	1·72	1·6305	1·6430	1·6530	0·0225	17·5	85 05	3·08
Hornblende von Edenville	12·81	2·64	1·6545	1·6655	1·6747	0·0207	18·5	90°	3·267
Hornblende von Pargas	9·92 ?	4·83 ?				0·018	24·5		
Soretite nach Duparc u. Pearce	9·83	9·64	1·6590 1·6628	1·6701 1·6765	1·6801 1·6856	0·0215 0·0228	17·5 17	82·5 90	3·223
Philipstadit nach Daly	15·80	7·55					17—22	54	3·275
Vesuv	21·28 (FeO + Fe_2O_3)					0·017	26	68	3·298
Vesuv nach Lacroix	5·30	12·32				0·014	33		3·18
Hastingsit nach Adams und Harrington	21·98	12·62				sehr schwach	30	$2E = 30$ bis 45	3·433

Die Angabe von Murgoci, daß auf die optischen Eigenschaften besonders das Fe_2O_3 einen Einfluß ausübt, scheint sich hier zu bestätigen. Nur, wie angedeutet, wachsen auch bei FeO-haltigen Hornblenden stark die Brechungsindices.

Der Hastingsit,[1] eine Alkalihornblende mit viel Eisenoxydul (Na_2O 3·29%, K_2O 2·29%), wurde hier angeführt wegen Ähnlichkeit mancher optischer Eigenschaften, welche ihn als ein weiteres hierher gehörendes Glied bezeichnen. Es ist auch die Dispersion der Achsen (hier sehr stark) $\rho > v$ um α wie bei manchen gemeinen Hornblenden.

Daß hier mehrere Glieder teilnehmen, ist schon aus dem ersichtlich, daß die Auslöschungsschiefe im Pargasit größer wie beim Karinthin ist, dann aber wiederum wächst, was mit der Annahme nur zweier Endglieder unvereinbar wäre.

Das Wachsen der Auslöschungsschiefe mit dem Fe_2O_3-Gehalt wurde von Daly und Murgoci auch so beobachtet, daß die Auslöschungsschiefe verschiedener Stellen von zonarstruierten Amphibolen verglichen wurde, wobei sich ergibt, daß die dunkleren Partien eine größere Auslöschungsschiefe haben.

Diese Eigenschaft, samt der Erscheinung, daß der Achsenwinkel um α kleiner wird, sowie das Erscheinen von bläulichen Tönen würde mit der Annahme stimmen, daß hier eine Verbindung von der Art der normalsymmetrischen Amphibole mit der Richtung α näher an die c-Achse als Endglied vorliegt.[2]

Prof. Becke hat auf Grund des Verlaufes der entsprechenden Isopolarisationskurven darauf hingewiesen, daß in einer isomorphen Reihe: Aktinolith—Riebeckit die Auslöschungsschiefe mit Fe_2O_3 wachsen, der Achsenwinkel um α kleiner werden muß.

Die Abnahme der Doppelbrechung der eisenhaltigen Glieder steht damit im Einklange. Wie es kommt, daß der Fe_2O_3-reiche Soretit der eisenoxydulreichen Hornblende von

---

[1] Adams and Harrington, On a new Alkali Hornblende. Am. Journ. of Sc., 3, 1896. Murgoci zählt diese Hornblende auf Grund der chemischen Ähnlichkeit (MgO vertreten durch FeO) in die Gruppe der gemeinen Hornblenden.

[2] Vgl. Hlawatsch, Tscherm. Min. Mitt., 1903, p. 499.

Edenville in bezug auf den Achsenwinkel und die Auslöschungsschiefe ähnlich ist, ist unklar.

Basaltische Hornblende.

Nachdem in der vorhergehenden Gruppe Hornblenden behandelt wurden, die mit Zunahme des Eisengehalts eine Verminderung der Doppelbrechung zeigen, war es von Wichtigkeit, eine Untersuchung der basaltischen Hornblende durchzuführen, welche durch Vorherrschen der Sesquioxydmoleküle sich auszeichnet.

Wir haben über die optische Orientierung der basaltischen Hornblende außer von petrographischen Beobachtungen Angaben von

1. Haidinger, Hornblende von Czernosin:

$$\beta = 1 \cdot 71, \quad c:\gamma = 1° \, 40', \quad 2V = -79° \, 24';$$

2. Michel Lévy und Lacroix, Hornblende von Böhmen:

$$\alpha = 1 \cdot 680, \quad \beta = 1 \cdot 725, \quad \gamma = 1 \cdot 752, \quad c:\gamma = 0 \text{ bis } 10°, \quad 2V = 80°;$$

3. Becke[1] gibt die Dispersion der Bisectricen in den schwarzen basaltischen Hornblenden zu $c:\gamma_\rho > c:\gamma_v$ an, wenn die Mittellinie γ im stumpfen Winkel β liegt. Das Entgegengesetzte findet statt, wenn γ im spitzen Winkel β liegt (in Gesteinen von Columbretes).

Hornblende aus den Gesteinen der Columbretes hat:

$$\gamma - \alpha = 0 \cdot 046, \quad 2V = \text{ca. } 80°.$$

Wegen der von Michel Lévy und Lacroix angegebenen, außerordentlich großen Doppelbrechung steht die basaltische Hornblende außerhalb der Reihe der gemeinen Hornblenden.

---

[1] F. Becke, Gesteine der Columbretes. Tscherm. Min. Mitt., 1897, Bd. XVI, p. 159. Die Dispersion $c:\gamma_\rho > c:\gamma_v$ wird hier angegeben für die Hornblende aus dem Basalttuff in Böhmen sowie aus dem Phonolith von Rongstock (nach Blumrich). — Im Werke von Rosenbusch ist infolge eines Druckfehlers der Sinn der Dispersion der Bisectrix umgekehrt angegeben.

Hornblende von Lukow.

Durch gütige Vermittlung von Prof. Becke erhielt ich von Prof. Hibsch lose Krystalle von Lukow, welche von ihm selbst an Ort und Stelle gesammelt waren. Prof. Hibsch hatte die Freundlichkeit, gleichzeitig zwei Analysen mitzuteilen, welche von H. F. Hanusch ausgeführt wurden und sich auf Krystalle dieses Vorkommens beziehen. Um sie als Mittelwerte für diese Hornblenden ansehen zu dürfen, wurde das Analysenmaterial so gewonnen, daß viele kleinere Krystalle verwendet wurden, reine Partien ausgesucht, pulverisiert und vermengt wurden. Die Analysen ergaben (Hanusch):

	I.	II.
SiO_2	39·60	39·90
TiO_2	2·50	2·90
F	0·10	
Al_2O_3	18·51	17·03
Fe_2O_3	5·50	4·14
FeO	2·26	4·00
MnO	0·74	0·23
CaO	12·57	12·70
MgO	14·11	14·39
K_2O	1·87	2·19
Na_2O	2·58	2·51
H_2O	0·26	0·48
CO_2	0·07	
	100·67	100·47
$O = F_2$	0·04	
	100·63	

Die Krystalle haben ein zerflossenes, korrodiertes Aussehen und zeigen auch im Inneren Hohlräume, die wahrscheinlich mit Gasen ausgefüllt waren. Dies wird im Zusammenhange stehen mit der von F. Cornu beschriebenen

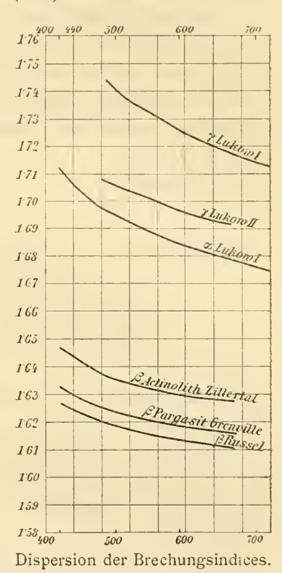
Erscheinung, daß die Mandelbildung immer an Hornblendekrystalle gebunden ist.

Es konnten an Lukower Hornblenden folgende Formen bestimmt werden:

(110), (010), (001), (021), (031), (111), (131), ($\bar{1}$11) (Aufstellung nach Goldschmidt).

Häufige Zwillingsbildung nach (100).

Die Form der Zwillingskrystalle ist abweichend von der der einfachen und die Formveränderung ist hier durch das raschere Wachsen längs der Zwillingsgrenze in der Richtung der Vertikalachse, der gemeinsamen Kantenrichtung, bewirkt. Vgl. hierüber Becke, Die Tracht der Krystalle; Vorträge des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftl. Kenntnisse in Wien, 47. Jahrg., H. 13, 1907.



Dispersion der Brechungsindices.

Fig. 5.

In einem Dünnschliff nach (010) beobachtete ich ein unregelmäßiges Hornblendebruchstück, in welchem Zwillingslamellen zu sehen sind, welches (nicht orientiert) im Krystall als fremder Körper liegt. In der Auslöschungsschiefe und in der Doppelbrechung wurde kein merklicher Unterschied von dem Wirt beobachtet.

Die Mittellinie γ ist nach vorn gerichtet und bildet mit der Hauptachse die Winkel:

λ	$c:\gamma$
668	3° 24′
589	2 47
480	1 43

auf (010) gemessen.

Zur Bestimmung der Brechungsindices wurden zwei Prismen verwendet, von denen eines so orientiert ist, daß die brechende Kante beinahe parallel der Mittellinie α liegt und die Begrenzungsflächen in bezug auf die Achsenebene symmetrisch liegen, an dem anderen aber ist die brechende Kante parallel γ und die Begrenzungsflächen sind in bezug auf den optischen Hauptschnitt γ, β annähernd symmetrisch.

Da infolge der Absorption der Prismenwinkel nur klein sein konnte, war es von großer Wichtigkeit, daß die Flächen vollkommen eben auch am Rande sind.[1] Knapp an der brechenden Kante läßt sich eine leichte Krümmung schwerlich vermeiden; über den daraus resultierenden Fehler siehe Voigt, Z. f. K., V, 113.

Ich erhielt:

I. Prismenwinkel = 16° 02′	II. Prismenwinkel = 16° 20′
$\gamma = 1 \cdot 7270$	$\gamma = 1 \cdot 6975$
$\alpha = 1 \cdot 6847$	$\beta = 1 \cdot 6867$
$\gamma - \alpha = 0 \cdot 0423$	$\gamma - \beta = 0 \cdot 0108$

Die Methode der Totalreflexion erlaubt eine annähernde Kontrolle dieser Werte.

Während die Werte für α noch ziemlich sicher bestimmbar und die dritte Dezimale sicher richtig ist, sind die Werte für γ nur sehr angenähert, weil hier keine schärfere Grenzlinie zu beobachten ist.

Doch liegt die Fehlergrenze tief unter den beobachteten Differenzen zwischen denselben Brechungsindices.

I. Na	$\gamma = 1 \cdot 7238$	II. $\gamma = 1 \cdot 6976$
	$\beta = 1 \cdot 7053$	$\beta = 1 \cdot 6857$
	$\alpha = 1 \cdot 6811$	$\alpha = 1 \cdot 6720$
	$0 \cdot 0427$	$\gamma - \alpha = 0 \cdot 0256 - 0 \cdot 0259$

[1] Die Herstellung der Prismen besorgte die Firma Voigt & Hochgesang. Die Möglichkeit der Kontrolle der Orientierung ist immer mit Hilfe von leicht herzustellenden Spaltflächen gegeben.

An einem anderen Krystall:

$$\text{III.}\quad \begin{aligned} \gamma &= 1\cdot6974 \pm 0\cdot002 \\ \beta &= 1\cdot6866 \\ \alpha &= 1\cdot6774 \\ \hline \gamma-\alpha &= \text{ca. } 0\cdot020 \end{aligned}$$

Es wurde noch die Höhe der Doppelbrechung an einer Platte $\parallel$010 mit dem Kompensator von Babinet bestimmt (von einem kleineren Krystall).

$(\gamma-\alpha)_{Na} = 0\cdot030$, Plattendicke $= 0\cdot0178$ *mm.*

Zur Bestimmung des Achsenwinkels[1] wurden Flächen, deren Normale wenig von den Achsen abweicht, angeschliffen:

	cA	cB	$c:\gamma$	$2V_\alpha$
Rotes Licht (λ = ca. 0·67)......	56° 59′	—49° 08′	3° 56′	73° 53′
λ = 589	56° 06′	49° 21′	3° 23′	74° 28′

Die Dispersion der Brechungsindices:

I. Prisma.

λ	$\alpha_D-\alpha_\lambda$	$\gamma_D-\gamma_\lambda$	$\gamma-\alpha$
ca. 723	+0·0091	+0·0155	0·0363
705	81	131	
685	61	114	
668	44	97	0·0374
645	37		
636	31	57	0·0401
617	21	47	
589	—	—	0·0427
563	−0·0020	−0·0034	
509	91	115	
497		146	
488	125	162	0·0464
480	138		
464	166		
458	182		
452	193		
434	234		

II. Prisma.[2]

λ	$\beta_D-\beta_\lambda$	$\gamma_D-\gamma_\lambda$
668	+0·0060	0·0060
636	40	46
617	23	26
589	0·0000	0·0000
563	— 13	— 10
538	46	43
497	89	83
488	103	94
480	116	103

Sp. G. von Prisma I 3·211, von Prisma II bedeutend kleiner. Kr. III Sp. G. 3·206.

[1] An diesem Krystall wurde die Fe O-Bestimmung gemacht — 1·70% Fe O.

[2] Die am zweiten Prisma abgelesenen Werte sind weniger genau, weil γ nur schwach zu sehen war.

Die Dispersion der Doppelbrechung mit dem Kompensator (Pl. ‖010):

λ	$\gamma-\alpha$
668	0·0290
589	0·0306
464	0·0326
434	0·0330

Pleochroismus γ — braun *g* (am ähnlichsten).
α — » *v*. Plattendicke 0·0178.

Das Resultat ist also überraschend. Die Differenzen der Brechungsindices und der Doppelbrechung sowie auch der Dispersion der Brechungsindices sind hier außerordentlich groß und es müssen hier mindestens zwei Arten von Krystallen unterschieden werden: 1. Krystalle von einer Doppelbrechung, welche in der Gruppe der gemeinen Hornblenden gewöhnlich ist, und 2. von einer bedeutend größeren.

Die Doppelbrechung, die ich fand: 0·042 (Na) steht zwar der von Michel Lévy und Lacroix gemessenen: 0·072 bedeutend nach, ist aber immerhin sehr groß. Es wären hier zwei Fälle möglich. Entweder haben wir hier mit zwei Generationen zu tun, mit Hornblenden von verschiedener Zusammensetzung oder es liegen hier mehr und weniger veränderte Hornblenden vor, in welchen der Eisenoxydulgehalt nachträglich in Eisenoxyd umgewandelt wurde. Die letztere Anschauung, deren Möglichkeit von Schneider und Belowski experimentell bewiesen ist, hat viel mehr Wahrscheinlichkeit.

Die petrographischen Untersuchungen haben erwiesen, daß solche Hornblenden tatsächlich einer kaustischen Wirkung unterworfen waren.

Im Vorjahre wurde von Seeman[1] die Änderung von optischen Eigenschaften von Hypersthen durch kaustische Einwirkung beschrieben.

---

[1] Ergebnisse einer naturwissenschaftl. Reise zum Erdschias-Dagh (Kleinasien). Petrogr. Teil. Annalen des k. k. Naturh. Hofmuseums, Bd. XXI, H. 3 und 4.

Der optische Achsenwinkel wird hier gegen den Rand zu kleiner um α, wird 0, um dann in entgegengesetzter Richtung auseinanderzugehen (Achsenebene jetzt 001). Die Dispersion der Achsen wird sehr groß von $\rho > v$ um α zu $v > \rho$ um α.

Der Annahme, daß die Unterschiede dieser basaltischen Hornblenden bloß einem verschiedenen Prozentgehalt an Eisen zuzuschreiben wäre, widerspricht vor allem die Beobachtung, daß hier bei zunehmenden Brechungsindices die Doppelbrechung zunimmt, während sie sonst gewöhnlich in den Hornblenden abnimmt. Auch zeigen die Analysen von Hanusch Unterschiede in der Oxydationsstufe, was neben den wohlbekannten Veränderungserscheinungen (Korrosion, Opacitrand etc.) auf Veränderungsvorgänge hinweist, wie es jetzt auch allgemein angenommen wird. Es bleibt also die Erklärung übrig, daß durch nachträgliche Oxydation Spannungszustände bewirkt wurden.

Steigerung der Brechungsindices, der Doppelbrechung, der Dispersion würden damit verbunden sein.

Das spezifische Gewicht des stärker lichtbrechenden Krystalls wurde höher gefunden wie das des anderen. Das spezifische Gewicht des Krystalls, an dem der Achsenwinkel gemessen wurde, entspricht genau dem spezifischen Gewicht des stärker brechenden Prismas.

Es könnten wohl auch zwei Generationen gewesen sein und die in der Tiefe entstandenen Krystalle würden einer stärkeren Veränderung unterliegen.

Klarheit könnte vielleicht die chemische Analyse derselben Krystalle, die optisch untersucht waren, bringen, obgleich die Verhältnisse immer infolge der Zonarstruktur verdunkelt werden.

Hornblende von Jan Mayen.

Die basaltische Hornblende, welche in Stücken des basaltischen Gletscherschuttes, welche von der österreichischen Polarexpedition (ausgerüstet vom Grafen Wilczek) mitgebracht wurden, sich befindet, war Gegenstand einer Abhandlung von R. Scharizer, Die basalt. Hornblende von Jan Mayen etc., N. J. f. M., 1884, II, p. 143, welcher aus der

chemischen Untersuchung dieses Minerals das Syntagmatitmolekül herausgerechnet hat.

Die Analyse von Scharizer ergab:

SiO_2	39·17
Al_2O_3	14·37
Fe_2O_3	12·42
FeO	5·86
MnO	1·50
MgO	10·52
CaO	11·18
K_2O	2·01
Na_2O	2·48
H_2O	0·40
Summe..	99·91

Sp. G. = 3·331,

also

$$(\overset{I}{R}_2\overset{II}{R})_3(Al\,Fe)_2Si_3O_{12}),$$

wobei

$$(CaO+Na_2O):(MgO+FeO+MnO) = 3:4$$

ist.

Von optischen Angaben hat Scharizer gefunden:

γ schwarz
β orange Radde $5r$
α » » $6p$ $\gamma = \beta > \alpha$

Auslöschungsschiefe = 0. Spaltwinkel = 124° 31·5 (Schrauf).

Über die Art des Vorkommens gibt Scharizer noch an, daß Krystalle, welche in Bomben und Tuffen Jan Mayens vorkommen, häufig sind; in der Nähe der Hornblendefragmente sind größere Blasenräume vorhanden. Manche Krystalle sind mit einer Rinde bedeckt, Beweis der Einwirkung des Magmas. Krystallumrisse haben nur manche Krystalle in den Tuffen, sonst sind sie angeschmolzen.

Aus diesen Beobachtungen ersieht man schon, daß auch hier verschiedene Stadien der Umänderung vorkommen werden.

Die angegebenen Erscheinungen kann man an dem im Wiener mineralogischen Universitätsinstitut noch vorhandenen Material sehr gut wahrnehmen.

Meine Messungen ergaben:

Auslöschungsschiefe:

λ	$c:\gamma$
705	3° 10′
589	2 10
538	1 55
471	1 05
434	0 00

Doppelbrechung:

λ	$\gamma-\alpha$
668	0·0291
589	0·0312
488	0·0327

Achsenwinkel $2V_\alpha = 72°$ (aus Messung der Entfernung der Achse und Mittellinie).

Dispersion: Achse A stark disp. $v > \rho$ um α.
Dispersion von Achse B sehr gering.

Pleochroismus: γ orangebraun *m* (Stich ins Grünliche).
α » *s* Dicke = 0·014 *mm*.

$\gamma = \beta > \alpha$.

In einer Flüssigkeit vom sp. G. = 3·271 schwimmen die Krystalle,
in einer Flüssigkeit vom sp. G. = 3·262 schweben viele
und bei » » = 3·222 sank die Mehrzahl.

Bemerkungen über die basaltische Hornblende.

Die durch sehr hohe Brechungsindices sich auszeichnende basaltische Hornblende unterscheidet sich von den meisten »gemeinen« Hornblenden nicht nur durch die starke Doppelbrechung, aber auch durch die Dispersion der letzteren und der optischen Achsen.

Die Dispersion der Doppelbrechung ist $(\gamma-\alpha)_v > (\gamma-\alpha)_\rho$ sehr stark, während bei den früher besprochenen eisenreichen Hornblenden $(\gamma-\alpha)_\rho > (\gamma-\alpha)_v$ oder eine nur schwache Dispersion $v > \rho$ zu beobachten war. Die Achsendispersion ist ebenfalls charakteristisch: $v > \rho$ für $2V_\alpha$.

Achse A sehr stark dispergiert $v > \rho$ um α.

Achse B sehr schwach (an der Lukower $\rho > v$).

Die kleine Auslöschungsschiefe ($c : \gamma_\rho > c : \gamma_v$, wenn γ im stumpfen Winkel β) und die übrigen besonderen Eigenschaften sind hier wohl auf das Vorhandensein des Eisens als Eisenoxyd zurückzuführen, doch spielt hier das Eisen eine andere Rolle wie in den unveränderten Hornblenden.

Der Gruppe der basaltischen Hornblenden sind nach den Untersuchungen von Brögger und Rosenbusch die Barkevikite anzureihen, in welchen das MgO durch FeO vertreten ist.

Die Orientierung (nach den Angaben von Rosenbusch [l. c.]: $c : \gamma = 14°$, $2E_\alpha = 54° 18'$ mit $v > \rho$ um α) stimmt mit der Regel von Tschermak, wonach in eisenreicheren Hornblenden der Achsenwinkel um α kleiner wird.

Ich habe den Barkevikit näher nicht untersucht, da ich über analysiertes Material nicht verfügte. An einem Barkevikit von Frederikvärn (Min. I. 2983) fand ich $c : \gamma = 12$ bis $19°$ (an 010) und sehr schwache Doppelbrechung.

Pleochroismus sehr deutlich $\parallel \gamma$ rötlichschmutzigbraun, $\parallel \alpha$ schmutziggelb (hell). Die Prüfung mit dem Kompensator führte zu keinem deutlichen Resultat. Ebenfalls ergab eine sehr gut polierte Platte am Totalreflektometer keine sichtbaren Grenzen der Totalreflexion.

Vom Arfvedsonit unterscheidet sich dieses Mineral durch die Farbe in dünnen Platten sowie durch die Lage der Bisectrix γ, welche hier näher an der Vertikalachse liegt.

Allgemeine Bemerkungen.

Aus der Erscheinung, daß dieselben Bestandteile verschiedene Wirkung auf die optischen Eigenschaften ausüben können, so FeO, Al_2O_3, scheint zu folgen, daß diese in der Konstitutionsformel des Amphibols nicht als einfache Silikate, z. B. $FeSiO_3$, $Al_2Si_3O_9$ etc. vorkommen, sondern als kompliziertere Verbindungen, z. B. die Tschermak'schen Doppelsalze, teilnehmen. Deshalb wurde der Grünerit abgesondert.

In der Aktinolithreihe und in den gemeinen Hornblenden läßt sich keine Steigerung der Doppelbrechung mit dem Eisengehalte wahrnehmen, was sein müßte, wenn das Eisenoxydul in der Grüneritform vorhanden wäre.

Ebenfalls scheint jede Verbindung ihre Eigenfarbe zu haben. Während Grünerit blaßgelblich, schwach gefärbt ist, sind die meisten eisenoxydulhaltigen[1] Verbindungen in der Aktinolith- und gemeinen Hornblende-Reihe grün. Die Glaukophanverbindungen zeigen bekanntlich blaue und violette Farben.

Daß die Absorption mit dem Eisengehalt im Zusammenhange steht, ist bekannt. Es ist aber hier auch ein Zusammenhang zwischen der Absorption mit den Dispersionserscheinungen zu beobachten. Für die basaltischen Hornblenden liegt das eine Absorptionsmaximum für die parallel γ schwingenden Strahlen nahe im Ultraviolett, schon für blaue und violette Strahlen ist sie in dickeren Schichten beinahe undurchlässig. Die Absorption der parallel α schwingenden Strahlen ist gering.

Die Dispersion der Brechungsindices ist der Regel konform, daß sie in der Nähe des Absorptionsgebietes sehr rasch steigen. Wir beobachten ein ungewöhnlich rasches Steigen des Brechungsindex γ für kürzere Wellenlängen, ein viel geringeres für α und die Dispersion der Doppelbrechung ist $(\gamma-\alpha)_v > (\gamma-\alpha)_\rho$. Dagegen ist in den alkalihaltigen und gemeinen Hornblenden, in welchen die blaugrünen Töne vorwalten für γ, die gelben für die Richtung α, das Umgekehrte der Fall. Es ist $(\gamma-\alpha)_\rho >$ $(\gamma-\alpha)_v$, die Steigerung von α rascher wie für γ, besonders im Gebiete des roten Spektrums, wo das Absorptionsmaximum im Ultrarot nahe liegt.

Die Dispersion der Doppelbrechung im Aktinolith ist nicht groß, die Absorptionsmaxima im Ultraviolett und Ultrarot scheinen nicht sehr verschieden entfernt zu sein. Es ist aber klar, daß außer der Absorption auch andere Faktoren sich hier geltend machen.

---

[1] Die Umwandlung in Fe_2O_3 bewirkt eine rotbraune Farbe. Geglühte Eisenoxydulverbindungen: Glaukophan, Aktinolith, ferner basaltische Hornblende. Die TiO_2-haltigen sind gelblichbraun.

Es ist bemerkenswert, daß die Ähnlichkeit des Verhaltens der Amphibole und Pyroxene, welche von Tschermak hervorgehoben wurde, sich in Details verfolgen läßt.

In der Pyroxengruppe ist optisch am besten die Diopsid-Hedenbergitreihe dank den Untersuchungen von Wülfing[1] bekannt. Er fand unter anderen folgende Gesetzmäßigkeiten in dieser Reihe:

1. Mit Zunahme von $CaFeSi_2O_6$ erfolgt eine Steigerung der Auslöschungsschiefe (vgl. hierüber auch Wiik, Doelter, Morozewicz).

2. Dispersion der Bisectrix ist $c:\gamma_\rho > c:\gamma_v$, wichtiger Unterschied gegenüber dem Ägirin, bei welchem das Umgekehrte stattfindet.

3. Alle drei Brechungsexponenten nehmen mit dem Eisengehalte zu; die Dispersion der Doppelbrechung $\gamma - \alpha$ etc. ändert sich vom Diopsidpol zuerst wenig; im Hedenbergit erst zeigt sich eine deutliche Abnahme für alle drei Größen.

4. Der Achsenwinkel ist sehr geringen Schwankungen unterworfen.

Alle die hier angeführten Regeln wurden auch hier gefunden, nur ist an Stelle von Diopsid-Hedenbergit Tremolit-Aktinolith zu setzen und Ägirin der Arfvedsonit.

Die an manchen sehr dunklen Hornblenden beobachteten Erscheinungen sollen weiter studiert werden. Ihre Aufzählung ist p. 901 gegeben.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten hier bestimmten Konstanten für Na-Licht zum Vergleiche nebeneinandergestellt.

---

[1] Beiträge zur Kenntnis der Pyroxenfamilie etc. Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia legendi der Universität Tübingen, 1891 (Heidelberg).

Na-Licht	α	β	γ	$\gamma-\alpha$	$c:\gamma$	$2V$
Tremolit Schweiz	1·6000	1·6155	1·6272	0·0272	15° 25'	79° 38'
» Albrechtsberg	1·6044	1·6198	1·6315	0·0272	15	82 30 (ber.)
Aktinolith Pierrepont	1·6065	1·6210	1·6319	0·0254	16 54	84 05
» Zillertal I	1·6139	1·6297	1·6410	0·0271	16 31	79 49
» » II	1·6209	1·6365	1·6466	0·0257	17	75 56 (ber.)
Richterit I	1·6151	1·6294	1·6367	0·0216	16 55	68 34
» II	1·618(6)	1·632(1)	1·637(6)	0·0190		
Hornblende von Snarum	1·6255	1·6385	1·6501	0·0246	18	
Tremolit Gouverneur	1·5996	1·6131	1·6244	0·0248	16 39	81 33
» Pierrepont	1·6042	1·6185	1·6299	0·0257	17	82 45 (ber.)
» Edenville	1·603(2)	1·616(1)	1·628(1)	0·0249		
Hornblende von Russel	1·6017	1·6134	1·6244	0·0227	19 31	86 14
» » Pargas	1·6158	1·6205	1·6353	0·0195	26 57	+58 51
» » Grenville	1·6142	1·6180	1·6332	0·0190	27 34	+51 55
Karinthin, Saualpe	1·6305	1·6430	1·6530	0·0225	17 39	85 08
Hornblende von Edenville	1·6545	1·6655	1·6747	0·0207	18·5	90
» vom Vesuv				0·017	26	68
Grünerit	1·672(0)	1·697(5)	1·717(2)	0·045	11	82
Basaltische Hornblende von Lukow I	1·684(7)		1·727(0)	0·042	3	74 28
» » » » II		1·686(7)	1·697(5)	(0·026)		
» » » Jan Mayen				0·031	2	72
Gastaldit	1·630(9)	1·646(3)	1·648(8)	0·018	7·5	42
Arfvedsonit, Grönland	1·675(7)		1·677(0)			

Inhalt.